


30.5
613



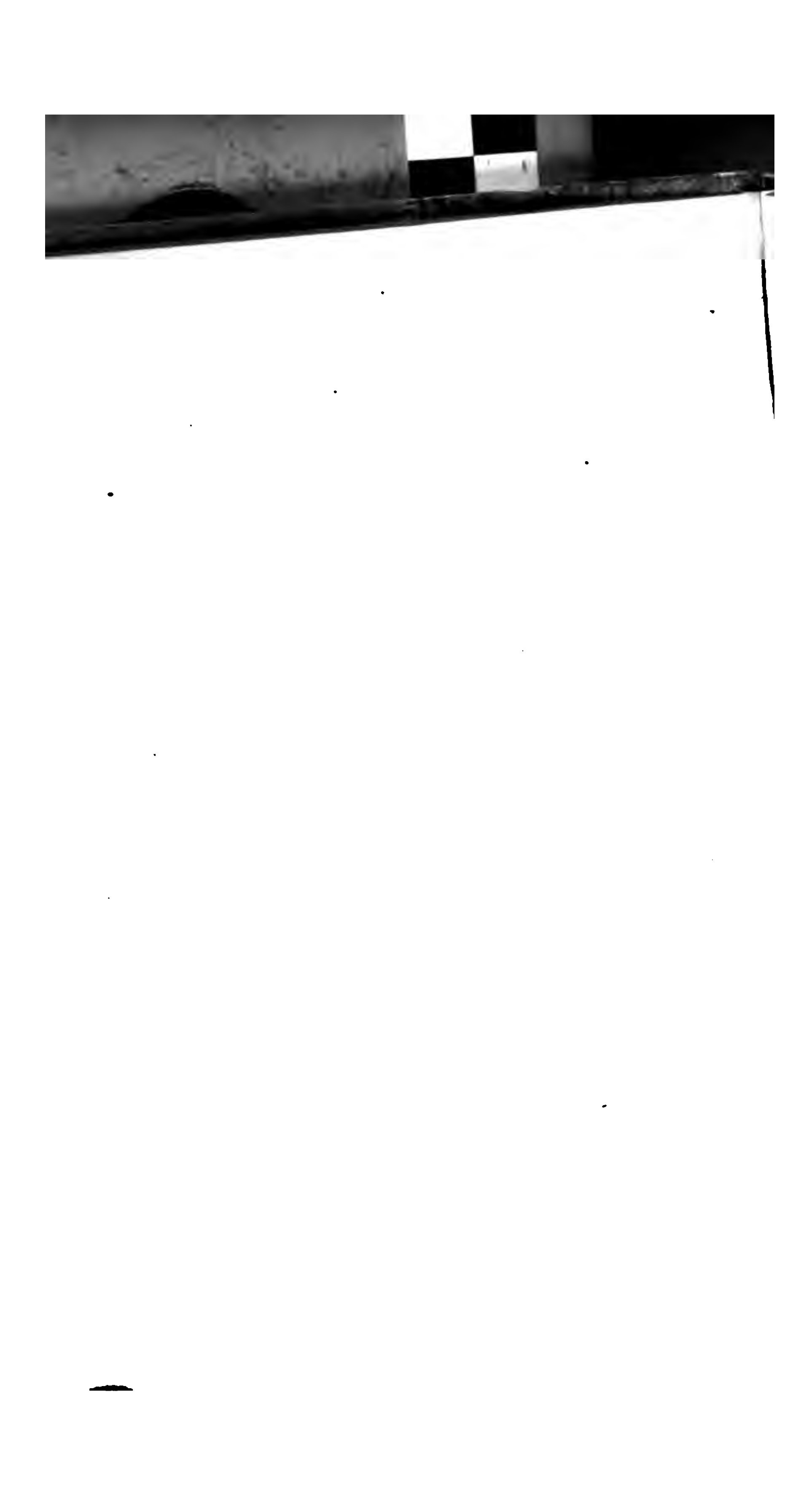


# ANNALEN

DER

# PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CXX.





# ANNALEN

DER

# PHYSIK

UND

# CHEMIE.

VIERTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

DREIZIGSTER BAND.

NEBST SECHS FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1863.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.





# ANNALEN

DER

# PHYSIK

UND

# CHEMIE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

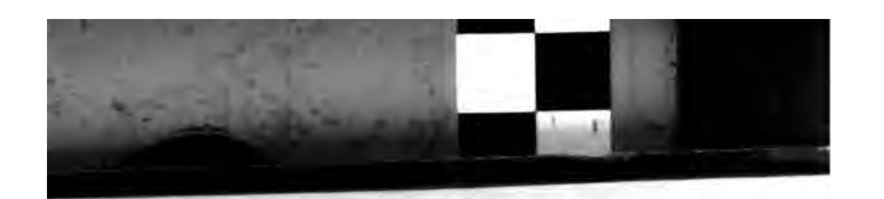
J. C. POGGENDORFF.

HUNDERT UND ZWANZIGSTER BAND.

DER GANZEN FOLGE HUNDERT UND SECHS UND NEUNZIGSTER.

NEBST SECHS FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1863.
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.



# Inhalt

## des Bandes CXIX der Annalen der Physik und Chemie.

### Erstes Stück.







## Zweites Stück.





## Drittes Stück.



(*Geschlossen am* 2. *December* 1863.)





## Viertes Stück.







(*Geschlossen am* 6. *Januar* 1864.)

## Nachweis zu den Kupfertafeln.

Taf. I. — Lommel, Fig. 1, S. 72; Fig. 2, S. 74; Fig. 3, S. 82; Fig. 4 u. 5, S. 84; Fig. 6, S. 94.

Taf. II. — Lommel, Fig. 1, 2 u. 3, S. 94. — Reusch, Fig. 4, S. 97; Fig. 5, S. 101; Fig. 6, S. 102. — Pape, Fig. 7, S. 351; Fig. 8, S. 353; Fig. 9, S. 352; Fig. 10, S. 354. — Simmler, Fig. 11, S. 627; Fig. 12, S. 627.

Taf. III. — Kundt, Fig. 1 u. 2, S. 118; Fig. 3 bis 8, S. 120, Fig. 9, S. 124; Fig. 10, S. 125; Fig. 11, S. 126; Fig. 12, S. 128; Fig. 13, S. 139; Fig. 14, S. 141; Fig. 15 u. 16, S. 143; Fig. 17 u. 18, S. 144; Fig. 19, S. 151; Fig. 20, 21 u. 22, S. 155.

Taf. IV. — Brodie, Fig. 1, S. 315; Fig. 2, S, 324. — Donders Fig. 3 u. 4, S. 462; Fig. 5, S. 463; Fig. 6, 7 u. 8, S. 470; Fig. 9, S. 473; Fig. 10 u. 11, S. 475.

Taf. V. — Donders, Fig. 1 bis 4, S. 476. — L. Meyer, Fig. 5 bis 7, S. 609.

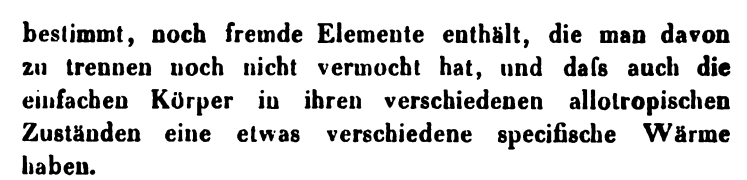
Taf. VI. — Riefs, Fig. 1, S. 516; Fig. 2, S. 528; Fig. 3, S. 537.

1863. ANNALEN №. 9.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CXX.

## I. *Ueber eine neue Reihe von Metalloxyden; von H. Rose.*

Berzelius bestimmte nach vielen und mannigfach wiederholten Versuchen die Atomgewichte der einfachen Stoffe besonders nach den analogen Eigenschaften ihrer Oxyde, wobei er mit einer bewunderungswürdigen Umsicht und einem feinen Tacte verfuhr. Er berücksichtigte alle Umstände mit der gröfsten Aufmerksamkeit, so dafs seine Annahmen auch dann noch mit wenigen Ausnahmen als die richtigen erkannt wurden, als durch die Auffindung von zwei sehr wichtigen Gesetzen man mit gröfserer Sicherheit als früher das Atomgewicht der einfachen Körper festzustellen im Stande war.

Das eine dieser Gesetze ist das von Dulong und Petit entdeckte, dafs die specifische Wärme der einfachen Körper sich umgekehrt wie ihre Atomgewichte verhalte. Dieses Gesetz ist namentlich von Regnault durch eine lange Reihe von Versuchen bestätigt, durch welche er gezeigt hat, dafs die specifische Wärme desselben Körpers zwar eine verschiedene seyn könne, je nachdem man ihn im festen, im flüssigen und besonders im luftförmigen Zustand betrachtet, dafs aber bei einfachen Körpern von starrem Aggregatzustande, die sich sonst auch in einem gleichen physikalischen Zustand befinden, das Product der specifischen Wärme in das Atomgewicht zwischen den Zahlen 38 und 41 schwankt (wenn das Atomgewicht des Sauerstoffs gleich 100 angenommen wird) und dafs diese Schwankungen weniger von den Fehlern bei den Versuchen herrühren, als davon, dafs die Wärmecapacität der Körper, wie man sie durch Versuche





bestimmt, noch fremde Elemente enthält, die man davon zu trennen noch nicht vermocht hat, und dafs auch die einfachen Körper in ihren verschiedenen allotropischen Zuständen eine etwas verschiedene specifische Wärme haben.

Durch Dulong und Petit wurden die Atomgewichte von den damals bekannten und leicht darstellbaren Metallen und vom Schwefel, wie sie Berzelius aufgestellt hatte, bestätigt, mit Ausnahme des Silbers. Bei diesem fanden sie, dafs das Product der specifischen Wärme in das Atomgewicht dieses Metalls, wie es von Berzelius angenommen worden war, nur dann mit den Zahlen übereinstimmt, welche die andern einfachen Körper gaben, wenn das Atomgewicht des Silbers mit 2 dividirt wird; eine Thatsache, welche durch die Versuche von Regnault bestätigt worden ist.

Das zweite Gesetz, welches zur Feststellung der Atomgewichte einfacher Körper dient, ist das des von Mitscherlich entdeckten Isomorphismus. Nach diesem können Verbindungen von gleicher atomistischer Zusammensetzung, wenn sie krystallisirt dargestellt werden, dieselben Formen annehmen. Dafs es auch ausnahmsweise Körper von derselben Krystallgestalt geben kann, deren atomistische Zusammensetzung wir jetzt noch nicht in irgend einen Zusammenhang zu einander zu bringen vermögen, widerlegt die Richtigkeit dieses Gesetzes nicht. Aber auch durch die Anwendung des Isomorphismus wurde man ebenfalls wie durch das Gesetz des Zusammenhanges der specifischen Wärme mit dem Atomgewicht der Körper darauf geleitet, dafs das von Berzelius angenommene Atomgewicht des Silbers um die Hälfte verringert werden müsse.

Bei einer Untersuchung der krystallisirten in der Natur vorkommenden Verbindungen des Antimons und des Arseniks hatte ich gefunden, dafs die Zusammensetzung der krystallisirten Fahlerze und der Polybasite, welche letztere eine einfachere Zusammensetzung als jene haben, nur auf die Weise erklärt werden könne, wenn man dem Schwe-

felsilber eine analoge Zusammensetzung wie dem Schwefelkupfer $Cu^2 S$ gäbe. Zahlreiche Analysen dieser krystallisirten Mineralien gaben das Resultat, dafs in ihnen Schwefelsilber und Schwefelkupfer sich in den mannigfaltigsten Verhältnissen ersetzen können [1]). Noch mehr aber wird die Isomorphie des Schwefelsilbers und des Schwefelkupfers $Cu^2 S$ durch die Zusammensetzung des krystallisirten Silberkupferglanzes bestätigt, welcher aus Schwefelsilber und dem Schwefelkupfer $Cu^2 S$ besteht und dieselbe Form wie der in der Natur vorkommende Kupferglanz $Cu^2 S$ hat [2]).

Obgleich aus diesen Thatsachen und aus noch vielen andern unzweideutig hervorgeht, dafs das von Berzelius angenommene Atomgewicht des Silbers verändert werden mufs, so ist diese Veränderung von fast keinem Chemiker angenommen worden. Fast alle nehmen noch jetzt das Silberoxyd als aus einem Atom Metall und einem Atom Sauerstoff bestehend wie bisher an, und betrachten dasselbe in der Zusammensetzung dem Kupferoxyd und dem Bleioxyd und nicht dem Kupferoxydul und dem Quecksilberoxydul analog.

Es läfst sich indessen anderseits nicht läugnen, dafs für die Beibehaltung des allgemein angenommenen Atomgewichts des Silbers auch wichtige Gründe sprechen. Der Hauptgrund gegen die Annahme eines um die Hälfte verringerten Atomgewichts dieses Metalls ist unstreitig der, dafs nach derselben einige Verbindungen des Silbers eine ganz ungewöhnliche Zusammensetzung erhalten. Nimmt man nämlich im Silberoxyd 2 Atome des Metalls mit einem Atom Sauerstoff verbunden an, so enthält das Silberoxydul gegen ein Atom Sauerstoff nicht weniger als 4 Atome Silber. Diese Zusammensetzung erscheint aber als eine so ganz unwahrscheinliche, dafs man die vielen Gründe, welche für die Veränderung des Atomgewichts des Silbers sprechen, nicht achtet und bei der alten Annahme beharrt.

1) Pogg. Ann. Bd. 15, S. 576, und Bd. 28, S. 156.
2) Pogg. Ann. Bd. 28, S. 427 und Bd. 40, S. 313.





Wenn einer Verbindung eine so ungewöhnliche Zusammensetzung zugeschrieben wird, wie dem Silberoxydul, wenn man es aus 4 Atomen Metall gegen ein Atom Sauerstoff zusammengesetzt betrachtet, so wird eine solche Annahme so lange bezweifelt, bis man analoge Verbindungen entdeckt hat, deren Zusammensetzung auf keine andere Weise gedeutet werden kann.

Deshalb habe ich mir Mühe gegeben, Oxyde von ähnlicher Zusammensetzung wie das Silberoxydul darzustellen, und nach vielen vergeblichen Versuchen ist mir diefs geglückt. Es ist mir namentlich gelungen, bei dem Kupfer eine Oxydationsstufe zu erhalten, die noch einmal so viel Kupfer gegen Sauerstoff enthält, als das Kupferoxydul, und daher mit dem Silberoxydul analog zusammengesetzt ist. Ein ähnliches Oxyd habe ich beim Quecksilber noch nicht darstellen können, aber ich habe Hoffnung es zu erzeugen. Ich werde ferner zeigen, dafs die Zahl solcher Oxyde keine geringe ist, dafs aber die Bereitung derselben mit grofsen Schwierigkeiten verbunden seyn wird.

### Nomenclatur.

Ehe ich aber zu der Beschreibung der Darstellung und der Eigenschaften der neuen Kupferverbindung übergehe, ist es nöthig dieser Klasse von Oxyden, deren Hauptrepräsentant das Silberoxydul ist, einen Namen zu geben.

Die chemische Nomenclatur, und namentlich die deutsche, ist im Allgemeinen eine sehr unvollkommene. Am mangelhaftesten indessen ist die Bezeichnung der verschiedenen Metalloxyde; sie ist nicht nur unzweckmäfsig, sondern kann auch zu manchen Verwirrungen Veranlassung geben. Ursprünglich haben wir nur für zwei Oxyde eines Metalls Benennungen, und wenn mehrere entdeckt werden, so hilft man sich auf verschiedene Weise und selten nach richtigen Principien. Die französische und die englische Nomenclatur haben vor der deutschen den Vorzug, dafs man mehrere Oxydationsstufen eines Metalls weit ungezwungener benennen kann. Alle leiden vorzüglich aber an dem Man-





gel, dafs die ähnlich benannten Oxyde nicht immer zu einer und derselben Gruppe gehören, deren Glieder bei gleicher atomistischer Zusammensetzung auch ähnliche Eigenschaften haben. So gehören Eisenoxydul und Zinnoxydul mit Kupferoxyd und Zinkoxyd, der atomistischen Zusammensetzung nach, zu einer Gruppe, während sie der Nomenclatur zufolge zu verschiedenen gehören; und obgleich Eisenoxyd und Bleioxyd ähnlich benannt werden, haben sie verschiedene Zusammensetzungen und Eigenschaften. Den Chemikern ist diefs oft unangenehm aufgefallen, und man hat bei mehreren Gelegenheiten dem zu helfen gesucht. So nennt man jetzt häufig das Nickel- und das Kobaltoxyd Nickel- und Kobaltoxydul, um sie mit dem Eisen- und Manganoxydul, denen sie in den chemischen Eigenschaften gleichen, in eine Abtheilung zu bringen, zu welcher übrigens Zinkoxyd und Kupferoxyd gehören. Da aber mehrere Chemiker aus guten Gründen diese Neuerung nicht angenommen haben, so entsteht durch die verschiedenen Benennungen eine nicht zu vermeidende Verwirrung.

Man kann diesem grofsen Mangel dadurch abhelfen, dafs man bei der Benennung der verschiedenen Metalloxyde die atomistische Zusammensetzung zu Grunde legt. Durch die ähnliche Zusammensetzung werden ähnliche Eigenschaften bedingt, und es bilden sich auf diese Weise gleichsam natürliche Gruppen.

Ich erlaube mir in dieser Hinsicht Vorschläge zu machen. Die von mir vorgeschlagenen Namen der verschiedenen Oxyde scheinen mir alle Nachtheile der bisherigen zu vermeiden und zugleich für alle Sprachen zu passen.

Wir können in atomistischer Beziehung fünf bestimmte Abtheilungen von salzfähigen Oxyden unterscheiden und zwar von folgender Zusammensetzung:

1) 4 Atome Metall mit 1 Atom Sauerstoff
2) 2 » » » 1 » »
3) 1 » » » 1 » »
4) 2 » » » 3 » »
5) 1 » » » 2 » »

Die letzte Abtheilung der Oxyde kann kaum zu den salzfähigen gerechnet werden.

Benennt man nun die Oxyde der verschiedenen Abtheilungen nach den Antheilen von Sauerstoffatomen, welche mit einem Atom Metall verbunden sind, so können dieselben folgende Namen erhalten:

1) $M + \frac{1}{4}O$ Quadrantoxyde
2) $M + \frac{1}{2}O$ Semioxyde
3) $M + O$ Isoxyde
4) $M + 1\frac{1}{2}O$ Sesquioxyde
5) $M + 2O$ Diploxyde [1]).

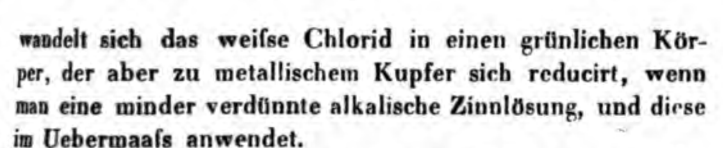
Auf ähnliche Weise können die entsprechenden Verbindungen der Metalle mit Chlor, Brom, Iod, Cyan und Schwefel benannt werden.

Ich habe mich im Folgenden dieser Nomenclatur bedient.

### Kupferquadrantoxyd.

Wenn man eine Lösung von Kupfervitriol mit Zinnisochlorid (Zinnchlorür) behandelt, zu welchem etwas Chlorwasserstoffsäure hinzugefügt worden ist, so erhält man bekanntlich Kupfersemichlorid (Kupferchlorür). Wenn man das erhaltene Semichlorid noch feucht in eine verdünnte Lösung von Zinnisochlorid in Kalihydrat bringt, so ver-

1) Die Oxyde von der Zusammensetzung $R^3O^4$ werden gewöhnlich und auch wohl mit Recht als salzartige Verbindungen aus einem Isoxyd und einem Sesquioxyd bestehend betrachtet. In ihren Lösungen wird das Sesquioxyd durch schwache Basen wie z. B. durch kohlensaure Baryterde gefällt, während das Isoxyd dadurch nicht niedergeschlagen wird. Ebenso wird durch allmähliges Hinzufügen einer sehr starken Base z. B. eines Alkalis die schwache Base, das Sesquioxyd, zuerst gefällt, und später erst die starke Base, das Isoxyd. So kann auch durch Erhitzen mit einer Lösung von Chlorammonium aus den Oxyden $R^3O^4$, wenn sie nicht stark geglüht worden sind, das Isoxyd unter Ammoniakentwicklung aufgelöst werden, während das Sesquioxyd ungelöst zurückbleibt. Nur das Oxyd des Cers von der Zusammensetzung $Ce^3O^4$ kann auf keine Weise in Ceroxydul CeO und in ein Sesquioxyd des Cers $Ce^2O^3$, das bisher noch auf keine Weise hat dargestellt werden können, zerlegt werden.





wandelt sich das weifse Chlorid in einen grünlichen Körper, der aber zu metallischem Kupfer sich reducirt, wenn man eine minder verdünnte alkalische Zinnlösung, und diese im Uebermaafs anwendet.

Fügt man eine Lösung von Kupfervitriol zu einem Ueberschufs der sehr verdünnten alkalischen Zinnlösung, so scheidet sich zuerst blaues Kupferisoxydhydrat aus, welches nach kurzer Zeit eine gelbe Farbe annimmt und sich in Kupfersemioxyd verwandelt. Die gelbe Farbe des Niederschlags verschwindet ebenfalls beim Umschütteln und geht in eine olivengrüne über. Der Niederschlag, der anfangs sehr voluminös war, fängt nun an, dicht zu werden und eine braunrothe Farbe anzunehmen. Er setzt sich nun beim Umschütteln schnell ab, und besteht aus metallischem Kupfer, das mit Chlorwasserstoffsäure oder auch mit Ammoniak befeuchtet, fast unverändert bleibt. Beim Umschütteln aber wird die Flüssigkeit nach dem Abscheiden des metallischen Kupfers nicht schnell klar, sondern der Theil des grünen Körpers, der noch nicht zu Kupfer reducirt ist, bleibt lange suspendirt. Endlich auch senkt er sich, und unterliegt dann ebenfalls der Reduction zu metallischem Kupfer.

Der erhaltene grüne Körper hat eine aufserordentliche Neigung sich höher zu oxydiren. Auch bei einem sehr beschränkten Luftzutritt wird er unter Wasser auf der Oberfläche in gelbes Kupfersemioxyd (Kupferoxydul) und endlich in schmutzig bläuliches Kupferisoxyd (Kupferoxyd) verwandelt.

Durch die äufserst leichte Oxydirbarkeit einerseits, und durch die leichte Reducirbarkeit zu metallischem Kupfer durch einen selbst kleinen Ueberschufs der verdünnten Zinnlösung andrerseits, wird die Darstellung des grünen Körpers sehr erschwert und mifslingt in sehr vielen Fällen auch bei der gröfsten Vorsicht.

Als das Resultat sehr vieler Versuche ergab sich, dafs man bei der Darstellung des neuen Körpers nur gerade die Menge von Zinnisochlorid anwenden mufs, die nöthig





ist, um das Isoxyd des angewandten Kupfersalzes in Quadrantoxyd zu verwandeln.

Man bereitet sich eine Lösung des Zinnisochlorids in Kalihydrat, die im Liter 50 Grm. von letzterem enthält, und so viel des Zinnisoxyds, dafs 30 Grm. Iod erfordert werden, um dasselbe in Zinndiploxyd zu verwandeln. Die Wärme, die bei der Lösung des Zinnsalzes in der alkalischen Lösung entsteht, mufs sorgfältig durch äufseres Abkühlen gemildert werden. Zu einem Liter der abgekühlten Lösung fügt man 300 CC. einer Lösung von Kupfervitriol hinzu, die 10 Grm. metallisches Kupfer enthalten, und schüttelt das Gemisch in einer Flasche, die fast ganz damit angefüllt ist, etwa alle 5 Minuten tüchtig um, und stellt in den Zwischenzeiten dieselbe in kaltes Wasser. Es fällt auch in diesem Falle zuerst blaues Kupferisoxydhydrat, das sich bei fortgesetztem Schütteln in röthlichgelbes Semioxyd verwandelt, welches darauf allmählich seine Farbe verändert und nach mehreren Stunden olivengrün wird. Nach 24 Stunden entfärbt die über dem Niederschlage stehende Flüssigkeit nach dem Uebersättigen mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure eine Iodlösung nicht mehr.

Zum Auswaschen wendet man anfangs Wasser an, welches Kalihydrat enthält, und wenn dadurch kein Zinndiploxyd mehr aufgelöst wird, reines Wasser. Nach der Entfernung des Kalihydrats setzt sich das erzeugte grüne Quadrantoxyd äufserst langsam ab. Fügt man aber alsdann zu dem Waschwasser etwas Ammoniak, so ballt sich der Niederschlag zusammen, ohne sonst eine Veränderung zu erleiden, und läfst sich dann rasch mit reinem Wasser auswaschen. Durch das Ammoniak, in welchem das Kupferquadrantoxyd nicht löslich ist, werden zugleich alle Spuren von etwa gebildetem Semioxyd und Isoxyd des Kupfers entfernt.

Wegen der so äufserst leichten Oxydirbarkeit des erzeugten Quadrantoxyds mufs das Auswaschen desselben mit sehr vieler Vorsicht geschehen. Es wurde dazu selbstverständlich Wasser angewandt, das durch langes Kochen vollständig von aller Luft befreit, und in gut verstopften Glä-

sern abgekühlt worden war. Der Stöpsel der Flasche wurde durch einen doppelt durchbohrten Cautschuckstöpsel ersetzt, durch dessen eine Oeffnung eine unten aufgebogene Glasröhre bis nahe an die Oberfläche des Niederschlags ging und durch die andere eine kürzere Röhre, die gerade unterhalb des Korkes endete. Oberhalb des Korkes waren beide rechtwinklicht gebogen. Durch die kurze Glasröhre wurde Wasserstoffgas aus einem Apparate geleitet und dadurch die Flüssigkeit aus der Flasche entfernt. Darauf wurden beide Röhren, die an ihren Enden mit Cautschuckröhren versehen waren, durch Quetschhähne gesperrt. Der Wasserstoffapparat wurde nun mit einer Flasche in Verbindung gebracht, die das ausgekochte kalte Wasser enthielt, und die ebenso eingerichtet und von derselben Gröfse war, wie die, in welcher die Fällung der Kupferverbindung bewirkt wurde. Nachdem die längere Röhre der Wasserflasche mit der längeren Röhre der Flasche, die den Niederschlag enthielt, verbunden war, wurde der Wasserstoffgas-Apparat mit der kürzeren Röhre der Wasserflasche in Verbindung gesetzt. Es wurde nun der Hahn des Wasserstoff-Apparats und sodann die vier Quetschhähne geöffnet, und zwar der Reihe nach, mit dem anfangend, welcher dem Wasserstoff-Apparate am nächsten war. Die Flasche mit dem Niederschlag füllte sich auf diese Weise mit ausgekochtem Wasser, das durch Wasserstoffgas aus der Flasche, in welcher es enthalten war, herausgedrückt wurde. Nachdem das Waschwasser mit dem Niederschlage sehr oft durch Schütteln gemengt worden, liefs man den Niederschlag sich gut absetzen, um die Operation zu wiederholen. Das Wasser zum Auswaschen wurde so lange mit ausgekochter Kalihydratlösung versetzt, bis im abgelassenen Waschwasser kein Zinn mehr zu entdecken war. Das konnte indessen auch durch sehr oft wiederholtes Auswaschen nicht völlig erreicht werden. Wenn daher nur Spuren von Zinn im Waschwasser sich zeigten, wurde das Kalihydrat so lange ausgewaschen, bis der Niederschlag sich nach dem Schütteln nicht mehr gut absetzte. Es wurde





dann Ammoniak zu dem Waschwasser hinzugefügt und das Auswaschen vollendet.

Obgleich das Wasserstoffgas möglichst rein aus dem Apparate entwickelt werden konnte, so wurde es doch vor dem Hineinströmen in die Flaschen durch eine Röhre geleitet, die mit einer concentrirten Lösung von pyrogallussaurem Kali befeuchtete Bimsteinstücke enthielt. Diese Vorsicht ist keine unnöthige, weil durch die verdünnte Schwefelsäure im Apparate Luft diffundirt.

Um kleine Mengen des Niederschlags zu den verschiedenen Versuchen zu erhalten, wurde in der Flasche die längere Röhre durch den Niederschlag bis auf den Boden herabgedrückt und darauf vermittelst des Wasserstoffstroms von dem Gemenge des Niederschlags mit Wasser entweder in kleine Flaschen gedrückt, oder in einen kleinen Kolben, der auf ähnliche Weise wie die Flasche mit dem Niederschlage und die mit dem Waschwasser verschlossen war.

Aber ungeachtet aller Vorsicht gelang die Erzeugung eines reinen Präparats nicht immer, sondern statt dessen erzeugte sich häufig eine Mengung von Kupfer und von Kupfersemi- und isoxyd. Es sind noch nicht genau alle Ursachen des Mifslingens ermittelt worden; unstreitig aber liegen sie in der Concentration und Temperatur der angewandten Lösungen. Ist aber die Darstellung der Verbindung gelungen, so erhält sie sich unter Wasser und geschützt gegen den Zutritt der Luft, ohne im Mindesten verändert zu werden.

Wenn die Verbindung längere Zeit unter Wasser beim gänzlichen Ausschlufs aller Luft aufbewahrt worden ist, so wird sie nach und nach dichter und unempfindlicher gegen Oxydation.

Zur Analyse wurde auf die oben beschriebene Weise ein Gemenge der Verbindung mit Wasser in einen Kolben gedrückt, der verdünnte Schwefelsäure enthielt. Die Verbindung zersetzte sich sogleich; während sich metallisches Kupfer absetzte, färbte sich die Flüssigkeit durch aufgelöstes Kupfer blau. Nach dem vollständigen Absetzen des





Kupfers wurde die Lösung auf die oben beschriebene Weise durch einen Wasserstoffstrom aus dem Kolben gedrückt und durch luftfreies Wasser ersetzt, welche Operation so lange fortgesetzt wurde, bis in dem Waschwasser durch Schwefelwasserstoffwasser kein Kupfer mehr aufgefunden werden konnte. Sowohl das ausgeschiedene Kupfer, als auch das in der schwefelsauren Lösung enthaltene enthielten Zinn. Letztere wurde mit Ammoniak so gesättigt, dafs sie noch schwach sauer auf Lackmuspapier reagirte, und darauf gekocht, wodurch sich Zinndiploxyd ausschied, dessen Gewicht bestimmt wurde. Das Kupfer wurde aus der Lösung durch Schwefelwasserstoffgas gefällt, das Schwefelkupfer im Wasserstoffstrome geglüht und gewogen. Das ausgeschiedene metallische Kupfer wurde in Salpetersäure gelöst, zur Lösung Schwefelsäure hinzugefügt, und dann eben so verfahren, wie bei der andern Lösung.

Es wurden erhalten

1) aus der schwefelsauren Lösung

0,3636 Grm. Kupfersemisulfuret
0,0348 Grm. Zinndiploxyd

2) aus dem Rückstande des metallischen Kupfers

1,0760 Grm. Kupfersemisulfuret
0,0304 Zinndiploxyd.

Wenn das neue Oxyd des Kupfers durch verdünnte Schwefelsäure in Kupferisoxyd und in metallisches Kupfer zersetzt wird, so verhält sich nach diesem Versuche das Kupfer in dem erzeugten Isoxyd zu dem ausgeschiedenen Kupfer wie 1 : 2,959: es sind also in dem neuen Oxyde 1 At. Sauerstoff mit 4 Atomen (nach dem Versuche mit 3,96) Kupfer verbunden. Das untersuchte Kupferquadrantoxyd bestand aber im trocknen Zustande aus

| | |
|---|---|
| Kupferquadrantoxyd | 94,93 |
| Zinndiploxyd | 5,07 |
| | 100,00. |

Letzteres war indessen nur mit ersterem gemengt, und hätte durch eine öfter erneute Behandlung mit Kalihydrat

wohl endlich ganz aus dem Quadrantoxyde ausgezogen werden können.

Die Resultate eines zweiten Versuchs von einer zu einer anderen Zeit dargestellten Verbindung, die öfter noch durch Kalihydrat gereinigt worden war, waren folgende: Es wurden erhalten 0,4690 Grm. Kupfersemisulfuret aus der schwefelsauren Lösung des durch verdünnte Schwefelsäure zersetzten Quadrantoxyds. Sie waren mit dem Zinn gemeinschaftlich durch Schwefelwasserstoff gefällt worden, und nach dem Wägen in Salpetersäure aufgelöst, und dann erst auf die oben beschriebene Weise von dem Zinn befreit worden; nach dieser Reinigung wog das Kupfersemisulfuret nur 0,4320 Grm. — Das durch verdünnte Schwefelsäure ausgeschiedene metallische Kupfer gab nach der Auflösung in Salpetersäure 1,2731 Grm. Kupfersemisulfuret, das nach der Reinigung vom Zinn nur 1,2501 Grm. wog. Die beiden Kupfermengen, die aus dem durch verdünnte Schwefelsäure zersetzten Quadrantoxyde als Semisulfurete erhalten wurden, verhalten sich also wie 1 : 2,9; und das trockne Quadrantoxyd bestand also aus einem Gemenge von

| | |
|---|---|
| Kupferquadrantoxyd | 96,56 |
| Zinndiploxyd | 3,44 |
| | 100,00. |

Aus diesen Versuchen geht unzweideutig hervor, dafs es eine Oxydationsstufe des Kupfers giebt, die aus 1 Atom Sauerstoff verbunden mit 4 Atomen Kupfer besteht, welche durch verdünnte Schwefelsäure in At. schwefelsaures Kupferoxyd und in 3 At. metallisches Kupfer zerlegt wird.

Wird das Kupferquadrantoxyd in seiner Mengung mit Wasser mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure behandelt, so bildet sich im ersten Augenblick ein dunkler Körper (vielleicht Kupferquadrantchlorid); es scheidet sich jedoch bald nach dem Schütteln metallisches Kupfer aus, und über dasselbe legt sich eine Schicht von weifsem Kupferchlorür, das durch ferneres Schütteln sich in der überschüssigen Chlorwasserstoffsäure ganz auflöst. Unstreitig wird das Kupfer-

quadrantoxyd durch die Chlorwasserstoffsäure in 1 Atom Kupfersemichlorid und in 2 Atome metallisches Kupfer zerlegt.

Fügt man zu der Mengung des Quadrantoxyds mit Wasser Schwefelwasserstoffwasser, so verwandelt es sich nach dem Schütteln in einen schwarzen Körper, der lange in der Flüssigkeit suspendirt bleibt. Der schwarze Körper hat vollkommen das Ansehen einer homogenen Verbindung, und nicht das einer Mengung von Kupferiso- oder semisulfuret mit metallischem Kupfer, und ist daher Kupferquadrantsulfuret. Bleibt dasselbe mit einem Ueberschufs von Schwefelwasserstoffwasser lange stehen, so fängt es an sich zu zersetzen; es findet eine Wasserstoffgas-Entwickelung statt, und das Kupferquadrantsulfuret verwandelt sich in eine höhere Schwefelungsstufe; in welche es übergeht, ist indessen durch Versuche nicht ermittelt worden.

Uebergiefst man die Mengung des Kupferquadrantoxyds mit wässeriger Cyanwasserstoffsäure, so wird es ebenfalls in einen homogenen schwarzen Körper verwandelt, der aus Kupferquadrantcyanid besteht. Dasselbe löst sich in verdünnter Salpetersäure bei gewöhnlicher Temperatur leicht unter Entwickelung von rothen Dämpfen zu einer blauen Lösung auf; die Lösung riecht nach Cyanwasserstoffsäure und giebt mit salpetersaurem Silberoxyd einen starken Niederschlag von weifsem Silbersemicyanid. Wird das Quadratcyanid mit salpetersaurer Silberlösung übergossen, so bildet sich eine blaue Lösung, und es bleibt eine braunschwarze Mengung von Silbersemicyanid mit metallischem Kupfer zurück. Wird diese mit Salpetersäure behandelt, so bildet sich eine blaue Lösung von salpetersaurem Kupferisoxyd und es bleibt weifses Silbersemicyanid zurück.

Wird das feuchte Kupferquadrantoxyd mit Ammoniak zusammengebracht, so wird es nicht davon aufgelöst, wodurch es sich wesentlich von dem Semioxyd und dem Isoxyd des Kupfers unterscheidet. Läfst man dann aber der Luft einen wenn auch nur beschränkten Zutritt, so bedeckt sich das grüne Quadrantoxyd zuerst mit einer gelben Haut





von Kupfersemioxyd, und nach und nach färbt sich die überstehende Flüssigkeit bläulich.

Auch wenn man eine Mengung von Ammoniak und kohlensaurem Ammoniak anwendet, so wird beim völligen Ausschlufs der Luft das Quadrantoxyd nicht im Mindesten angegriffen.

Durch diese Versuche ergiebt sich, dafs die dargestellte Verbindung eine eigene Oxydationsstufe des Kupfers ist, und von einer Zusammensetzung, wie man sie aufser beim Silberquadrantoxyd bei keinem Metall vermuthen konnte. Dafs die Oxydationsstufe des Silbers, welche man bis jetzt allgemein Silberoxydul nannte, aus 4 Atomen Silber und einem Atom Sauerstoff verbunden besteht, kann jetzt eben so wenig bezweifelt werden, wie die Nothwendigkeit, das bisher angenommene Atomgewicht des Silbers um die Hälfte zu verringern. Das Kupferquadrantoxyd gehört mit dem Silberquadrantoxyd zu derselben Gruppe von Oxyden. Ebenso gehören die Oxyde, die man allgemein Silberoxyd und Kupferoxydul nennt und welche Semioxyde sind, zu einer und derselben Gruppe, sowie die Oxyde, die gewöhnlich Silbersuperoxyd und Kupferoxyd genannt werden, welche beide Isoxyde sind. Die Eigenschaften dieser beiden Oxyde von gleicher atomistischer Zusammensetzung sind freilich sehr verschieden, denn bis jetzt ist es noch nicht geglückt, das Silberisoxyd mit Säuren zu Salzen zu verbinden, wie wir sie beim Kupferisoxyd kennen. Andererseits wird wohl kein Chemiker das Atomgewicht des Kupfers, sowie die atomistische Zusammensetzung der beiden bisher bekannten Oxyde des Kupfers, wie man sie jetzt annimmt, bezweifeln, und das, welches man Kupferoxyd nennt für ein Diploxyd, und das sogenannte Kupferoxydul für ein Isoxyd des Kupfers halten.

Ich habe oben angeführt, dafs die Zahl der Quadrantoxyde der Metalle wahrscheinlich keine geringe ist: ich mufs sogar vermuthen, dafs die Gruppe derselben eine zahlreiche sey.

Es ist Bunsen gelungen, den Chlorverbindungen der





alkalischen Metalle Chlor zu entziehen, namentlich dem Chlorkalium, dem Chlorrubidium und dem Chlorcäsium, und zwar durch Electrolyse, und sie in niedrigere Chlorverbindungen von intensiv smalteblauer Farbe zu verwandeln, die sich in den geschmolzenen Chlormetallen auflösen können [1]). Man kann diese Chlorverbindungen sehr leicht auch ohne Hülfe der Electricität durch Zusammenschmelzen von Kalium mit Chlorkalium in einem Strome von Wasserstoffgas darstellen. Man erhält dann eine intensiv dunkelblaue Salzmasse, die sich in Wasser unter Wasserstoffgas-Entwickelung in Chlormetall und in Alkalihydrat zersetzt. Chlornatrium mit Natrium im Wasserstoffstrome zusammengeschmolzen geben eine graublaue geschmolzene Masse [2]).

1) Poggendorff's Ann. Bd. 113, S. 344.

2) Das in der Natur vorkommende blaue Steinsalz verdankt seine blaue Farbe nicht einem Gehalt an Natrium- oder vielmehr an Kaliumquadrantchlorid. Das hellblaue Steinsalz von Stafsfurt ist nicht gleichmäfsig gefärbt; neben hellblauen Würfeln liegen scharf abgegränzt vollkommen farblose durchsichtige, und auch röthlichbraun gefärbte, die nicht die mindeste Einmengung von dem bläulich gefärbten enthalten. Die blau gefärbten Würfel bestehen nur aus Chlornatrium (mit einer sehr geringen Menge von schwefelsaurem Natron verunreinigt); die farblosen und die röthlichbraunen hingegen enthalten sehr viel Chlorkalium und zwar die farblosen 2 At. Chlorkalium auf 1 At. Chlornatrium, also 73 Proc. Chlorkalium

Ein ähnliches Verhältnifs findet bei dem blauen Steinsalze von Kalucz in Galizien statt. Auch bei diesem gränzen blau gefärbte Würfel scharf an völlig farblose. Jene bestehen nur aus Chlornatrium, diese sind reines Chlorkalium ohne eine Einmengung von Chlornatrium. Dabei finden sich Würfel, die äufserst schwach bräunlich gefärbt sind und doch kein Chlorkalium enthalten, sondern aus reinem Chlornatrium bestehen.

Nicht bei jedem Vorkommen enthalten die farblosen Würfel, welche an blau gefärbte gränzen, sehr viel Chlorkalium, oder bestehen ganz daraus, während das blaue Salz frei davon ist. Bläulich gefärbtes Steinsalz von Hallstadt wurde zwar rein von Chlorkalium befunden (bisweilen enthielt es sehr geringe Mengen davon); aber die an dasselbe gränzenden farblosen Würfel bestanden ebenfalls aus Chlornatrium. Etwas Aehnliches zeigte sich auch bei einem schwach bläulich gefärbten Steinsalz von Wieliczka.

Das blaue Steinsalz bildet wie das farblose mit Wasser eine ganz





Man kann mit grofser Wahrscheinlichkeit annehmen, dafs diese Subchlorüre halb so viel Chlor enthalten, als die Chlormetalle, aus denen sie dargestellt worden sind. Bekanntlich aber sind die Oxyde und die Chloride der alkalischen Metalle keine Isoxyde und Isochloride, sondern Semioxyde und Semichloride, und die Atomgewichte der 5 bekannten alkalischen Metalle, (so wie auch das des Thalliums) müssen mit 2 dividirt werden. Dann aber sind diese Subchlorüre Quadrantchloride, denen wahrscheinlich auch Quadrantoxyde entsprechen müssen, welche indessen wohl schwer darzustellen seyn mögen. Mann würde dann die Gruppe der Quadrantoxyde eine zahlreiche nennen können [1]).

farblose Lösung, die nicht alkalisch reagirt. Alle Arten des blauen Steinsalzes, selbst die, welche ziemlich intensiv gefärbt sind, wie das von Kalucz, zeigen bei der Lösung nicht die geringste Wasserstoffgasentwicklung.

1) Die in dieser Abhandlung beschriebenen Versuche sind von Hrn. Dr. Finkener angestellt worden, der mit unermüdlichem Eifer sich dieser Arbeit unterzogen hat. Nur durch seine geschickte Zusammenstellung der Apparate war es überhaupt möglich, das so leicht oxydirbare Kupferquadrantoxyd rein darzustellen, und ich gestehe, dafs es mir nicht möglich gewesen wäre, ohne seine Hülfe zu den erhaltenen Resultaten zu gelangen.

## II. *Untersuchungen über das Vanadin; von C. Czudnowicz.*

Das Vanadin gehört zu denjenigen Grundstoffen, deren Studium bisher ziemlich vernachlässigt worden ist, und deren Kenntnisse weit hinter dem gegenwärtigen Standpunkt der Wissenschaft zurückgeblieben sind. Der Grund hiervon mag wohl in den mühsamen und zeitraubenden Operationen, mit welchen die Darstellung der Vanadinpräparate verbunden ist, gesucht werden können; denn obgleich das Vorkommen des Vanadins im Mineralreiche als ein weit verbreitetes bezeichnet werden mufs, so trifft es sich dennoch immer in einer nur sehr spärlichen Menge an.

Bald nachdem Sefström im Jahre 1830 die Entdeckung des Vanadins gemacht hatte (Schweigg. Journ. 62, 316), veröffentlichte Berzelius eine Arbeit über dasselbe und dessen Verbindungen, die überhaupt bis zur gegenwärtigen Zeit inhalt- und umfangreichste über diesen Gegenstand (Schweigg. Journ. 62, 323 und 63, 26). Sie hat, wie es die Untersuchung eines neuen Grundstoffes stets mit sich bringen mufs, ihr Hauptaugenmerk auf die Atomgewichtsbestimmung gelegt, worauf die Verbindungen der Oxydationsstufen des Vanadins mit andern Körpern beschrieben worden sind. Obgleich deren Verhalten und Eigenschaften angegeben wurden, so wurde ihre Zusammensetzung meistens nicht ermittelt, weshalb die Arbeit als ein werthvoller Leitfaden für spätere Untersuchungen betrachtet werden mufs, dagegen nur wenig Anhaltspunkte bezüglich der Analogien des Vanadins mit andern Stoffen darbieten kann.

Den ersten Vergleich des Vanadins mit andern Körpern bot die von Rammelsberg nachgewiesene Isomorphie des Vanadinbleierzes von Windischkappel mit dem Apatit, Pyromorphit und Mimetesit dar (Pogg. Ann. 98, 249). Bei sonst ganz analoger Zusammensetzung dieser Mineralien be-

stand hier eine Differenz in der atomistischen Zusammensetzung der Vanadinsäure einerseits und der Arsen- und Phosphorsäure andererseits. Dieses Factum veranlafste Kenngott (Pogg. Ann. 99, 93) zu der Annahme, dafs das Vanadin aufser der von Berzelius angegebenen Säure mit 3 Atomen Sauerstoff auch eine zweite besitze, welche entsprechend der Phosphorsäure 5 Atome Sauerstoff enthalte, und dafs diese letztere Säure in dem Vanadinblei als vorhanden betrachtet werden müsse.

Wenngleich diese Ansicht von Rammelsberg widerlegt wurde und als unhaltbar aufgegeben werden mufste, so konnte die Isomorphie des Vanadinbleierzes mit dem Pyromorphit bei der Annahme eine Erklärung finden, dafs die von Berzelius als mit 3 Atomen Sauerstoff bestehende Vanadinsäure in der Wirklichkeit, wie die Phosphorsäure, 5 Atome Sauerstoff enthalte.

Dieser Idee ist besonders Struve zugethan, und er hoffte ihre Haltbarkeit durch den Versuch zur Entscheidung zu bringen. Da jedoch diese Untersuchung bisher nicht ausgeführt ist, und Schafarik bei Versuchen mit der Vanadinsäure (Ann. d. Chem. Pharm. 109. 84) zu einem andern Resultate als Berzelius gelangte, so ist der Zweifel über die Constitution der Vanadinsäure nichts weniger als aufgeklärt.

Während Berzelius nämlich durch Reduction der Vanadinsäure mittelst Wasserstoffgas nur das Suboxyd erhalten hatte, erhielt Schafarik ein Gemenge desselben mit metallischem Vanadin, von welchem letztern in einem Versuche 6 Proc., ja in einem andern bis 24 Proc. vorhanden waren.

Bietet schon die Vanadinsäure, die am besten gekannte Oxydationsstufe, Zweifel über ihre wahre Zusammensetzung dar, so müssen in noch viel höherem Grade die Angaben über die Zusammensetzung der andern Oxyde des Vanadins in Frage gestellt werden. Von ihnen ist nämlich nur dasjenige Vanadinoxyd, welches den Lösungen eine blaue Farbe ertheilt, einer analytischen Untersuchung unterwor-





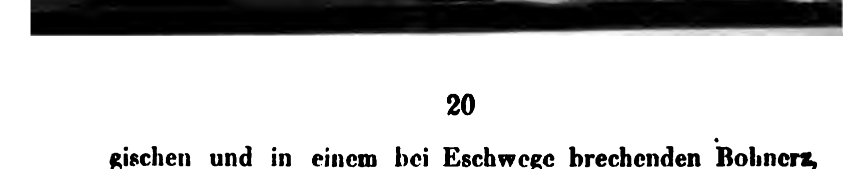
sen worden, und wie ich später zeigen werde, gründen sich diese Versuche auf einer unrichtigen Annahme.

Die nachfolgenden Versuche, wenngleich sie nicht im Stande sind das Dunkel, welches über die Oxydationsstufen des Vanadins noch schwebt, völlig zu lichten, sollen einen Beitrag zur Kenntnifs derselben liefern.

Ueber das Vorkommen des Vanadins in der Natur habe ich in keinem der bestehenden Handbücher der Chemie eine genügende Zusammenstellung finden können. Aus diesem Grunde, und weil ich die Angaben über die Zusammensetzung einiger natürlichen Vanadinate als unrichtig zurückzuweisen gedenke, will ich mir erlauben, einen Abrifs von dem Vorkommen des Vanadins meiner Untersuchung vorauszuschicken.

Nachdem Sefström aus dem Stabeisen von Eckersholm Vanadinsäure gewonnen, solche auch in den Schlacken, welche bei der Gewinnung dieses Eisens fallen, gefunden hatte, und als Ursprung des Vanadins ein Eisenstein von Taberg erkannt wurde, welcher nach Svanberg (J. f. pr. Ch. 22. 381) nur 0,1 Proc. Vanadinsäure enthält, ist dieselbe als integrirender Theil auch in vielen andern Eisenerzen jüngerer Bildung, besonders in den sogenannten Bohnerzen und Brauneisensteinen, und den daraus erhaltenen Hüttenprodukten angetroffen worden.

So fand Schrötter (Pogg. Ann. 46, 311) in den lebhaft blaugrüngefärbten Hochofenschlacken aus den Schmelzwerken vom Vordernberg in Steyermark Vanadin, Bodemann (Pogg. Ann. 55, 633) wies es in den Eisensteinen von Steinlade und Haverloh am nordwestlichen Harzrande nach, Kersten (Pogg. Ann. 59, 121) zeigte sein Vorkommen in einem armen Eisenerze von Maxen bei Pirna, von wo aus es in die Hochofenschlacken und ein eigenthümliches Hochofenproduct (das dem Hauptbestandtheile nach aus Schwefeleisen besteht) der Friedrich-Augusthütte im Plauischen Grunde übergeht, Müller (J. f. pr. Ch. 57, 124 und 60, 63) fand es in verschiedenen würtember-





gischen und in einem bei Eschwege brechenden Bohnerz, Boedecker (J. f. pr. Ch. 66, 190) endlich traf es im Sphärosiderit des Venusberges bei Bonn an.

In allen diesen Eisenerzen, in welchen der Vanadingehalt etwa nur 0,1 Proc. beträgt, ist zur Zeit über den Oxydationsgrad, oder die Art und Weise, in welcher das Vanadin in ihnen enthalten ist, nichts Sicheres bekannt.

Wenn man in Betracht zieht, dafs aus diesen Erzen das Vanadin nur durch Oxydation mittelst Salpeter als Vanadinsäure erhalten werden kann, und dafs das Vanadin meistens erst durch mehrmalige Wiederholung dieser Operation gänzlich ausgezogen wird, so mufs man wohl zu dem Gedanken geleitet werden, dafs es in einer niedern Oxydationsstufe vorhanden sey. Diese Ansicht gewinnt um so mehr an Wahrscheinlichkeit, wenn man die Bildungsweise der Brauneisensteine in Erwägung zieht. Aus einer Lösung von kohlensaurem Eisenoxydul in kohlensäurehaltigem Wasser durch Oxydation an der Luft allmählich abgesetzt, mufste gleichzeitig vorhandene Vanadinsäure, in Hinblick ihrer leichten Reducirbarkeit durch das Eisenoxydul eine Reduction erleiden, denn schon Berzelius machte die Beobachtung, dafs beim Vermischen eines Eisenoxydulsalzes mit vanadinsaurem Alkali die Vanadinsäure reducirt wird.

Die Anwesenheit des dem Vanadin in mancher Beziehung ähnlichen Chroms in den vanadinhaltigen Eisensteinen läfst vermuthen, dafs das Vanadin, gleich dem Chrom und dieses theilweise ersetzend, in einer dem Chromeisenstein analogen Verbindung vorhanden sey. Diese Vermuthung würde zur Gewifsheit werden, sobald man in der Natur einen Vanadineisenstein, oder wenigstens einen vanadinhaltigen Chromeisenstein auffinden würde, da der Vanadingehalt in den Brauneisensteinen zu unbedeutend ist, als dafs man durch directe Versuche den Oxydationsgrad des Vanadins in ihnen erfahren könnte.

Das Vorhandenseyn von Vanadin in Chromeisensteinen wird aber auch durch den Umstand um so wahrscheinlicher, als Ficinus (J. f. pr. Ch. 29, 491) in dem Ser-

pentin von Zöblitz, dem gewöhnlichen Begleiter des Chromeisenerzes, Vanadin fand.

In der neuesten Zeit ist das Vanadin ferner in verschiedenen Thonen entdeckt worden. Der Ursprung scheint hier, wie bei den vanadinhaltigen Eisensteinen wohl derselbe zu seyn. Zuerst fand es Deville in einem zwischen Arles und Toulon bei Baux vorkommenden eisenhaltigen Mineral, welches Dufrenoy zu den Gibbsiten rechnete (J. f. pr. Ch. 84, 255), darauf wies es Beauvallet im Thon von Gentilly bei Paris (J. f. pr. Ch. 84, 256) und Terreil in den Thonen von Dreux und Forges-les-Eaux bei Rouen nach (Chem. Centralbl. 1860, 896).

In ebenfalls nur sehr geringer Menge wurde das Vanadin in den untern Ablagerungen der Zechsteinformation, und zwar als ein Begleiter des Kupferschiefers angetroffen. Kersten fand es in den Kupferschlacken (besonders den blauen), sowohl von Sangerhausen, wie von der Friedrichshütte unweit Riechelsdorf, und wies es dann auch in den aus dem Kupferschiefer erhaltenen Schmelzproducten, nämlich im Kupferstein, Schwarzkupfer und Gaarkupfer, so wie in dem Kupferschiefer selbst nach (J. f. pr. Ch. 22, 381 und 24, 379).

Die Formation des Rothliegenden und Zechsteins tritt bekanntlich, aufser im nördlichen Deutschland, im südöstlichen Theile Rufslands, eine mächtige Fläche bildend, als das von Murchison sogenannte Perm'sche System auf. Hier hatte schon vor längerer Zeit Hefs ein Mineral angetroffen, das er Volborthit nannte, und welches im wesentlichen aus vanadinsaurem Kupferoxyd besteht. Schubin fand darauf im Jahre 1839 in den Erzen und Hüttenproducten des daselbst brechenden Kupfersandsteins Vanadin und erwähnte, aus einer Erzprobe bis 4 Proc. Vanadinsäure erhalten zu haben. Drei Jahre später theilte er mit, in einem Kupfersandstein, welcher bei 60facher Vergröfserung vanadinsaures Kupferoxyd erkennen liefs, 0,5 Proc. Vanadinsäure gefunden zu haben, während ihm das bei der Schmelzung der Perm'schen Erze erhaltene kupfe-

rige Roheisen einen Vanadingehalt von nahe 2 Proc., und das mit diesem Eisen gleichzeitig erhaltene Schwarzkupfer etwa 1 Proc. Vanadin anzeigte (J. f. pr. Ch. 53, 90).

Jedenfalls mufs das Vanadin als ein charakteristischer und nie fehlender Bestandtheil des Perm'schen Systems betrachtet werden, dessen Kupfererze von Volborthit durchsetzt sind, welcher nach einer Mittheilung Planers (N. Jahrb. f. Min. Geogn. Geol. u. Petrefactenk. 1850, 220) auch in sichtbaren Ablagerungen in einer keineswegs geringen Menge vorkommt.

Wöhler machte im Jahre 1841 auch auf die Anwesenheit des Vanadins im Uranpecherz aufmerksam (Pogg. Ann. 54, 600). Er vermuthete, dafs es darin als Schwefelvanadin enthalten sey. Nach Wöhler's Angabe prüfte Ficinus ein Uranpecherz von unbekannter Fundstätte ebenfalls auf Vanadin und fand es darin (J. f. pr. Ch. 26, 35). Hier waren es besonders ziegelrothe, blättrige, starkglänzende Trummen, welche, die neben der Pechblende liegenden serpentinähnlichen Saalbänder durchziehend, aus vanadinsaurem Kalk bestanden. Darauf theilte Kersten mit (J. f. pr. Ch. 29, 333), in dem hyacinthrothen Uranpecherz von Johanngeorgenstadt in Sachsen, Vanadin gefunden zu haben.

Der Vanadingehalt der Uranpecherze erhielt für die Gewinnung des Vanadins eine gröfsere Bedeutung, seit das Urangelb technische Anwendung fand, und die Darstellung desselben fabrikmäfsig betrieben wird, worauf Gisecke (J. f. pr. Ch. 55, 445) eine Methode angab, nach welcher das Vanadin als Nebenproduct bei der Darstellung von Uranoxyd gewonnen werden kann, und Ritter von Hauer (J. f. pr. Ch. 69, 118) das Verfahren beschrieb, wonach Patera bei der Darstellung des Urangelbs aus den Joachimsthaler Uranerzen das Vanadin zu Gute macht.

Endlich mufs noch das Vorkommen von Vanadin im Gelbbleierz genannt werden, dessen Wöhler (J. f. pr. Ch. 71, 447) Erwähnung gethan hat. Es ist in demselben, wie ich mich überzeugt habe, wenn auch nicht immer, so doch sehr häufig in geringer Menge als vanadinsaures Blei-





oxyd enthalten und kann dann zweckmäfsig bei der Darstellung der Molybdänsäure aus dem Molybdänbleierz als Nebenproduct gewonnen werden, da es sich durch verdünnte Salpetersäure leicht ausziehen läfst.

Aufser den hier aufgeführten Vorkommnissen des Vanadins als zufälliger Begleiter anderer Fossilien, wird es nur selten in der Natur als ein wesentlicher Bestandtheil von Mineralien angetroffen. Der Mangel einer scharfen Bestimmungsmethode für das Vanadin, sowie die Schwierigkeiten der Trennung desselben von andern Stoffen, verbunden mit der überaus grofsen Spärlichkeit, in welcher diese so seltenen Mineralien vorkommen und deshalb Wiederholungen der Analysen aus Mangel an Material nicht zuliefsen, sind Grund genug, weshalb ihre Zusammensetzung in vielen Fällen noch nicht als feststehend betrachtet werden darf.

Im Vanadinbleierz oder Vanadinit findet sich das Vanadin als drittel vanadinsaures Bleioxyd. Es ist angetroffen worden zu Zimapan in Mexico (Berzelius, Schweigg. 63, 26), am Berge Obir zu Windischkappel in Kärnthen (Canaval, N. Jahrb. f. Min. usw. 1857. 173; Rammelsberg, Pogg. Annalen 98, 249), zu Beresowsk im Ural (G. Rose, Pogg. Ann. 29, 455; Rammelsberg, Handb. d. Mineralchemie), zu Wicklow in Irland (Rammelsberg, Handbuch der Mineralchemie). Auch das Vanadinblei von Wanlockhead in Schottland, von dem wir noch keine quantitative Analyse besitzen, scheint identisch mit den Mineralien von vorbenannten Fundorten zu seyn, worauf seine Krystallgestalt als sechsseitige Säulen und das spec. Gewicht von 6,99 bis 7,23 hindeuten. (Johnston, Schweigg. J. 63, 119). Die beiden von Damour untersuchten Vanadinbleierze, nämlich eines von unbekanntem Fundort (J. f. pr. Ch. 11, 134) und der sogannte Descloizit aus den La-Plata-Staaten (J. f. pr. Ch. 62, 246) schliefsen sich dem Vanadinit ebenfalls an.

Einen rhombischen Vanadinit von Kappel in Kärnthen hat kürzlich Tschermak analysirt (Chem. Centralbl. 1862, 106).





Aus seinen Versuchen folgert er, dafs das Mineral aus einfach vanadinsaurem Bleioxyd bestehe. Da aber diese Annahme auf einem augenscheinlichen Irrthum beruht, so glaube ich an dieser Stelle, auf die Details der Untersuchung näher eingehen zu dürfen.

Tschermak fand nämlich bei der qualitativen Prüfung des Minerals Vanadinsäure mit Bleioxyd, nebst einer Spur Zink und stellte hiernach die Formel $PbO + nVO_3$ auf. Zur Ermittlung des Coëfficienten *n* benutzte er das Verhalten der Verbindung gegen zweifach schwefelsaures Kali, wonach beim Zusammenschmelzen beider gegen ein Aequivalent Bleioxyd je ein Aequivalent Schwefelsäure in Freiheit gesetzt werden soll, nach der Gleichung:

$$\dot{P}b\,n\dddot{V} : \dot{K}\dddot{S} + \dot{H}\dddot{S} = \dot{P}b\dddot{S},\ \dot{K}\,n\dddot{V},\ \dot{H}\dddot{S}.$$

Dafs die Zersetzung nach diesem Schema nur für einen einzelnen Fall, in welchem der Factor *n* eine bestimmte Gröfse ausdrückt, geschehen kann, leuchtet ein, da einmal die Bildung des Bleisulfats stets stattfinden mufs, und ferner für die Entstehung des vanadinsauren Kalis in jedem Falle, mag ein Atom Bleioxyd mit soviel Atomen Vanadinsäure verbunden gewesen seyn, als es wolle, dieselben Bedingungen auftreten, folglich unter allen Umständen ein Salz von ein und demselben Sättigungsgrad gebildet werden mufs. Wenn also auf ein Aequivalent Bleioxyd ein Aequivalent Schwefelsäurehydrat entweicht, so setzt diefs voraus, dafs das Vanadinblei eine Verbindung von dem gleichen Sättigungsgrade, wie das entstehende vanadinsaure Kali sey. Wie aus meinen später anzuführenden Versuchen hervorgeht, besitzt die Vanadinsäure die Eigenthümlichkeit, in ihren bei Schmelzhitze gebildeten Salzen auf ein Atom der Säure drei Atome Basis zu sättigen, und wenn es daher überhaupt gestattet ist, aus dem Verluste der Schwefelsäure beim Schmelzen von zweifach schwefelsaurem Kali mit Vanadinblei, auf die Zusammensetzung des letztern einen Schlufs zu machen, so mufs es als drittel vanadinsaures Salz betrachtet werden.

Als eine fernere Stütze für seine Ansicht, das Mineral

sey einfach vanadinsaures Bleioxyd, führt Tschermak an, dafs es 54,3 Proc. Bleioxyd enthalte, während die Rechnung 54,7 Proc. Bleioxyd ergebe. Diese Übereinstimmung mufs indessen nur als reine Zufälligkeit betrachtet werden, und kann die Annahme, das Mineral als drittelvanadinsaures Salz zu betrachten, nicht wiederlegen, da auch der Aräoxen und Eusynchit, wie ich gleich zeigen werde, bei demselben Bleigehalte dennoch drittelvanadinsaure Verbindungen sind.

Gemeinsam mit Bleioxyd und Zinkoxyd kommt die Vanadinsäure, und zwar wie soeben gesagt, auch als drittelsaures Salz im Aräoxen bei Dahn in der Rheinpfalz (v. Kobell, J. f. pr. Ch. 50, 496 und Bergemann in Rammelsb. Handb. d. Mineralchemie) und im Eusynchit zu Hofsgrund bei Freiburg i. Br. vor.

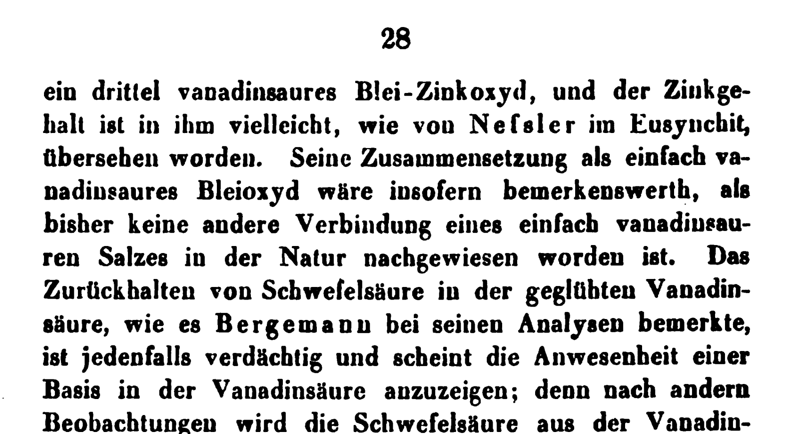
Letzterer wurde von Fischer und Nefsler beschrieben (Ber. über Verhandl. d. Gesellsch. f. Nat. Wiss. zu Freiburg, 1854, No. 3; S. 33; und N. Jahrb. f. Min. usw. 1855, 570) und besteht zu Folge einer Analyse von Nefsler aus:

| | |
|---|---|
| PbO | 55,70 |
| $VO_2$ | 20,49 |
| $VO_3$ | 22,69 |
| $SiO_3$ | 0,94 |
| Verlust | 0,18 |
| | 100,00 |

oder wenn man von der unwesentlichen, das Mineral begleitenden Kieselsäure absieht aus

| | |
|---|---|
| PbO | 56,33 |
| $VO_2$ | 20,73 |
| $VO_3$ | 22,94 |
| | 100,00. |

Da die Angabe Nefslers, dafs das von ihm untersuchte Mineral Vanadinoxyd = $VO_2$ enthalte, unbegründet ist, hat Rammelberg aus dem angeführten Bleigehalte den Eusynchit in seinem Handbuche der Mineralchemie als einfach vanadinsaures Bleioxyd aufgenommen. Die Richtig-





ein drittel vanadinsaures Blei-Zinkoxyd, und der Zinkgehalt ist in ihm vielleicht, wie von Nefsler im Eusynchit, übersehen worden. Seine Zusammensetzung als einfach vanadinsaures Bleioxyd wäre insofern bemerkenswerth, als bisher keine andere Verbindung eines einfach vanadinsauren Salzes in der Natur nachgewiesen worden ist. Das Zurückhalten von Schwefelsäure in der geglühten Vanadinsäure, wie es Bergemann bei seinen Analysen bemerkte, ist jedenfalls verdächtig und scheint die Anwesenheit einer Basis in der Vanadinsäure anzuzeigen; denn nach andern Beobachtungen wird die Schwefelsäure aus der Vanadinsäure beim Glühen ausgetrieben, und Fritzsche und Schafarik bedienten sich sogar dieser Eigenschaft der schwefelsauren Vanadinsäure zur Darstellung reiner Vanadinsäure.

Ein Vanadinblei, welches aus der Wheatley-Grube bei Phoenixville, Chester Co., Pa stammte, ist von Smith untersucht worden (J. f. pr. Ch. 66, 433). Es bestand nach Abzug der mehrfachen, fremden Beimengungen aus basisch vanadinsaurem Bleioxyd.

Ein Vanadinkupferbleierz, welches sich im derben Buntbleierz der Mina grande in Chile fand, wurde von Domeyko beschrieben (Rammelsb. Handb. der Mineralchemie). Aus seinen Analysen geht hervor, dafs die Vanadinsäure als basisches Salz an Bleioxyd und Kupferoxyd gebunden war; indessen läfst der Verlust von 12 Proc. bei diesen Analysen nicht eine Formel für das Mineral aufstellen.

Ueber ein Mineral, welches aus vanadinsaurem Kupferoxyd bestehend zwischen Miask und Katharinenburg gefunden wurde, machte Hefs Mittheilung (J. f pr. Ch. 14, 52). Da jedoch eine Analyse von diesem Mineral, welchem der Namen Volborthit beigelegt wurde, nicht ausgeführt worden ist, und specifisches Gewicht und sonstige Eigenschaften mit dem von Credner als Kalkvolborthit untersuchten und bei Friedrichsrode am Thüringer Walde gefundenen Mineral (Pogg. Ann. 74, 546) gut übereinstimmen, so liegt wohl Grund vor, dafs beide ein und dieselbe Spe-

cies, und zwar basisch vanadinsaures Kalk-Kupferoxyd seyen.

Endlich ist nach Teschenmacher in der Cliff-mine am Obernsee ein das gediegene Kupfer bekleidender Beschlag gefunden worden, welcher nach vorläufigen Versuchen aus Vanadinsäure bestehen soll. (N. Jahrb. f. Min. usw. 1854, S. 176 und 1856, S. 193).

Nachdem ich nun eine Zusammenstellung von dem Vorkommen des Vanadins in der Natur gegeben habe, werde ich zu meinen Untersuchungen übergehen.

Als Material der bei meinen Versuchen benutzten Vanadinsäure bediente ich mich des Brauneisensteins von Haverloh, der nach einem mit 400 Grm. der Substanz ausgeführten Vorversuch eine Ausbeute von 0,1 Proc. Vanadinsäure lieferte. Das Verfahren zur Darstellung der Vanadinsäure war folgendes:

Der feingepulverte Eisenstein wurde mit dem dritten Theile seines Gewichts an Chilisalpeter innig gemischt und einige Stunden der Rothgluth ausgesetzt. Die geglühte Masse bildet meistens noch ein loses Pulver; und nur an den Stellen, wo die Hitze am stärksten gewirkt hat, sind einzelne Partien zusammengesintert. Sie wird mit heifsem Wasser ausgelaugt, bis die erneuten Auszüge keine, oder wenigstens eine nur sehr schwache Vanadinreaction mit ozonisirtem Aether anzeigen.

Gewöhnlich genügt ein einmaliges Glühen des Eisensteins mit Salpeter nicht, um das Vanadin gänzlich aufzuschliefsen, weshalb dann eine Wiederholung dieses Verfahrens räthlich ist.

Die Auszüge werden soweit eingedampft, bis durch Ausscheidung von Kieselsäure oder Salzen ein Stofsen eintritt. Nachdem die eingedampften Auszüge erkaltet sind, werden sie unter Umrühren mit Salpetersäure versetzt, so dafs die Endreaction jedoch noch schwach alkalisch bleibt.

Es scheidet sich alsdann ein starker, weifser, voluminöser Niederschlag, bestehend aus Thonerde, Phosphaten und Kieselsäure, aus, welcher durch Filtration zu trennen ist.

Da er in Säuren leicht löslich ist, so mufs der Zusatz der Salpetersäure so getroffen werden, dafs bei zwar noch alkalischer Reaction der Flüssigkeit, das Filtrat dennoch auf erneuten Zusatz von Säure keinen Niederschlag mehr ausscheidet.

Das Eiltrat wird darauf mit einer concentrirten Lösung von Chlorbaryum im Ueberschufs versetzt, der entstandene Niederschlag nach einigem Stehen abfiltrirt und einige Male mit Wasser nachgewaschen.

Der noch feuchte Barytniederschlag wird mit concentrirter Schwefelsäure digerirt; dann verdünnt man mit Wasser und filtrirt ab. Da jedoch bei einmaliger Behandlung mit Schwefelsäure die Zersetzung des Niederschlags nur unvollkommen ist, und eine erhebliche Menge Vanadinsäure zurückgehalten wird, so mufs diese Operation noch mehrmals wiederholt werden. Die hierbei theilweise eintretende Reduction der Vanadinsäure, welche sich durch die grüne Farbe der Lösung zu erkennen giebt, kann nicht vermieden werden, und scheint sogar für eine möglichst vollständige Extrahirung der Vanadinsäure von Vortheil zu seyn, weshalb man gut thut, eine geringe Menge eines Reductionsmittels, wie Oxalsäure, zuzusetzen.

Die schwefelsaure Lösung, welche das Vanadin und aufserdem das in dem Eisenstein vorhandene Chrom enthält, wird bis zur Syrupsconsistenz eingedampft, um den gröfsten Theil der überschüssig zugesetzten Schwefelsäure fortzutreiben. Die nach dem Erkalten fest gewordene Masse wird in Wasser gelöst und allmählich mit Ammoniak übersättigt. Dabei entsteht ein voluminöser, mifsfarbiger Niederschlag, welcher durch Filtration von der schwarzgrünen Flüssigkeit zu trennen ist.

Diese enthält schwefelsaures und vanadinsaures Ammoniak und ist von einer geringen Menge eines durch partielle Reduction von Vanadinsäure entstandenen niedern Vanadinoxydes dunkelgrün gefärbt. Aus ihr setzen sich gewöhnlich nach einiger Zeit blättrige, zuweilen sternförmig gruppirte Krystallflittern von rein metallischem Ansehen und

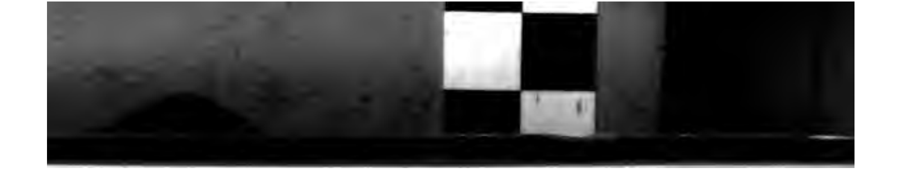
Silberglanz ab. Sie sind, wie die Analyse ergab, nichts Anderes als vanadinsaures Ammoniak $= NH_4 O + VO_3$.

Der in der schwefelsauren Lösung durch Ammoniak erzeugte Niederschlag von braungrauer, sich in's Grüne neigender Farbe enthält sämmtliches Chrom als Oxyd an Vanadinsäure gebunden und aufserdem eine noch ansehnliche Menge niederen Vanadinoxydes. An der Luft, besonders bei Gegenwart von Ammoniak, nimmt er durch Oxydation eine rein grüne Farbe an. Er wird zu wiederholten Malen mit Wasser, dem man von Zeit zu Zeit eine geringe Menge Ammoniak zusetzt, digerirt, bis sich sein Volumen nicht mehr vermindert, und er bei erneutem Digeriren mit ammoniakalischem Wasser nichts mehr abgiebt. Er besteht nun aus vanadinsaurem Chromoxyd, woraus die Vanadinsäure durch Schmelzen mit kohlensaurem Natron und Auslaugen erhalten werden kann.

Die grünen Lösungen, welche beim Übersättigen der schwefelsauren Vanadinsäurelösung mit Ammoniak, so wie beim Behandeln des Niederschlages mit ammoniakalischem Wasser erhalten wurden, werden gemeinsam unter zeitweiligem Zusatz von Ammoniak allmählich eingedampft, wobei sich die Flüssigkeit durch Oxydation entfärbt. Nachdem sich ihr Volumen durch Verdampfen stark vermindert, und sich schon ein grofser Theil des in Lösung gewesenen Salzes abgeschieden hat, läfst man erkalten, filtrirt und wäscht das auf dem Filter befindliche vanadinsaure Ammoniak mit einer concentrirten Chlorammoniumlösung nach.

Aus dem Filtrat kann auf dieselbe Weise nach abermaligem Eindampfen noch einiges vanadinsaures Ammoniak abgeschieden werden, worauf aus der Mutterlauge durch Schwefelammonium und darauf folgende Behandlung mit Schwefelsäure der gröfste Theil der nun noch darin enthaltenen geringen Menge Vanadinsäure als Schwefelvanadin gefällt wird.

Die aus dem vanadinsauren Ammoniak durch anfangs gelindes, darauf verstärktes Erhitzen dargestellte Vanadinsäure bildete eine schon bei schwachem Glühen schmelzende





und nach dem Erkalten stark krystallinische Masse, in welcher die Anwesenheit fremdartiger Stoffe nicht erkannt werden konnte.

Kleine Mengen vanadinsauren Ammoniaks können ganz leicht in kurzer Zeit in Vanadinsäure umgewandelt werden. Wenn man dagegen mit gröſsern Mengen operirt, so erfordert die Röstung des Ammoniaksalzes Vorsicht. Sie muſs sehr langsam ausgeführt werden, und die Hitze nicht bis zum Schmelzpunkt der Vanadinsäure gesteigert werden, so lange noch Ammoniak entweicht. Andern Falls enthält die Vanadinsäure auch niederes Oxyd, das in der geschmolzenen Masse schwer oder nicht oxydirt werden kann.

Um über die Zusammensetzung der Vanadinsäure zum entscheidenden Resultat zu gelangen, wurde diese, wie es auch Berzelius gethan, im geschmolzenen und darauf fein gepulverten Zustand in Kugelröhren von schwerschmelzbarem Glase erhitzt, während ein continuirlicher Strom trocknen Wasserstoffgases hindurchstrich. Die Hitze wurde allmählich bis zum Weichwerden des Glases gesteigert. Der Versuch wurde als beendigt betrachtet, sobald bei wiederholter Wägung nach abermaligem Ueberleiten von Wasserstoffgas und Erhitzen des Vanadinsuboxydes keine Gewichtsänderung mehr eintrat. Hierbei wurden folgende Zahlen erhalten:

1. 0,4231 Grm Substanz hinterlieſsen bei obiger Behandlung 0,3514 Grm Rückstand.

2. 0,1220 Grm. Vanadinsäure lieferten bei selbiger Behandlung 0,1015 Grm.

3. 0,12315 Grm. Vanadinsäure gaben ebenso 0,10250 Grm. Rückstand.

Es verloren also 100 Gewichtstheile Vanadinsäure in

1. 16,946 Gewichtstheile Sauerstoff
2. 16,803 » »
3. 16,768 » »

oder 100 Theile der durch Wasserstoffgas aus der Vanadinsäure reducirten Oxydationsstufe verlangen zur Bildung von Vanadinsäure in





1. 20,404 Theile Sauerstoff
2. 20,197 » »
3. 20,146 » »

Die Uebereinstimmung dieser Versuche unter einander, sowie mit denjenigen von Berzelius, nach welchen 100 Theile des niedern Oxydes sich mit 20,927 Theilen Sauerstoff zur Vanadinsäure vereinigen, bestätigen zur Genüge, dafs Wasserstoff die Vanadinsäure bei einer Hitze, bei welcher schwerschmelzbares Glas weich zu werden anfängt, nur bis auf einen bestimmten, feststehenden Oxydationsgrad reducirt. Die Versuche von Berzelius zur Festsetzung der Constitution der Vanadinsäure und zur Bestimmung des Atomgewichts des Vanadins beruhen also auf richtiger Basis, und wenn Schafarik in seinen Versuchen ein hiervon abweichendes Resultat erhielt, so mufs der Grund davon in der viel stärkern Hitze gesucht werden, welcher er die Vanadinsäure bei der Reduction durch Wasserstoffgas aussetzte.

Um die Menge des Sauerstoffs in dieser Oxydationsstufe zu bestimmen, leitete Berzelius über sie Chlor, wobei eine Umsetzung in Vanadinchlorid und Vanadinsäure stattfand. Letztere betrug ein Drittel der ursprünglich zur Reduction mit Wasserstoff angewandten Menge. Schafarik hat die Richtigkeit dieses Versuchs bestätigt und bei der Analyse des Vanadinchlorids Zahlen erhalten, welche mit den von Berzelius angegebenen Werthen übereinstimmen. Eine nochmalige Wiederholung dieser Versuche habe ich, weil über ihre Richtigkeit kein Zweifel besteht, nicht für nöthig befunden, zumal die von mir später zu beschreibenden Versuche, welche die Zusammensetzung der andern Oxydationsstufen des Vanadins betreffen, ebenfalls darauf hinweisen, dafs die Vanadinsäure auf 1 Atom Metall 3 Atome Sauerstoff enthält. Ich werde mich deshalb in dieser Arbeit des von Berzelius ermittelten Atomgewichts für das Vanadin = 68,5 (H = 1 gesetzt) bedienen.

Wenn Vanadinsäure durch Ueberleiten von Schwefelwasserstoffgas in Schwefelvanadin umgesetzt wird, so müfs-

ten sich aus der Menge der angewandten Vanadinsäure, des resultirenden Schwefelvanadins und des in letzterm enthaltenen Schwefels ebenfalls Anhaltepunkte ergeben, aus welchen die atomistische Zusammenstzung der Vanadinsäure erkannt werden kann. Ich führe diese Methode nur aus dem Grunde hier an, weil es den Anschein gewinnen könnte, als ob man nach derselben die Constitution der Vanadinsäure leicht erfahren könne, denn zahlreiche, in dieser Richtung unternommene Versuche bewiesen ihre Unausführbarkeit. Schwefelwasserstoff setzt zwar in der Hitze die Vanadinsäure unter Bildung von Wasser und Abscheidung von Schwefel in Schwefelvanadin um, aber derselbe Hitzegrad ist auch hinreichend, das gebildete Schwefelvanadin wieder theilweise zu zersetzen.

Obgleich nach den Untersuchungen von Berzelius über die Sättigungscapacität der Vanadinsäure, welche mit dem vanadinsauren Ammoniak und dem aus diesem und Chlorbaryum erhaltenen vanadinsauren Baryt angestellt wurden, sich für die neutralen Salze die Sauerstoffmenge in der Säure als das Dreifache derjenigen in der Basis ergab, so zeigen alle in der Natur bisjetzt gefundenen Vanadinate, mit Ausnahme des Dechenits, die sonderbare Erscheinung, dafs in ihnen die Vanadinsäure mit einer verhältnifsmäfsig gröfsern Menge Basis verbunden ist.

Für vanadinsaures Ammoniak, krystallisirt aus ammoniakalischer Lösung, fand ich aus dem Gewichte der Vanadinsäure, welche beim Glühen des unter 100° getrockneten Salzes erhalten wird, die Formel $NH_4O + VO_3$, was die frühern Versuche bestätigt. Dagegen gelangte ich zu einem andern Resultate, als ich die Sättigungscapacität der Vanadinsäure aus der Menge Kohlensäure zu bestimmen versuchte, welche ein gegebenes Gewicht Vanadinsäure in der Glühhitze aus kohlensaurem Natron austreibt.

Das kohlensaure Natron wurde im Platintiegel geschmolzen, über Schwefelsäure erkalten gelassen und gewogen. Nachdem dann geschmolzene und pulverisirte Vanadinsäure hinzugewogen war, wurde der Tiegel wohlbedeckt mit sei-

nem Inhalt zuerst einige Zeit gelinde erhitzt, darauf starker Rothgluth ausgesetzt, worauf nach dem Erkalten über Schwefelsäure abermals sein Gewicht bestimmt wurde.

1. 0,2339 Grm. Vanadinsäure trieben
0,1762 Grm. Kohlensäure aus.

2. 0,1543 Grm. Vanadinsäure trieben
0,1097 Grm. Kohlensäure aus.

3. 0,1728 Grm. Vanadinsäure trieben
0,1224 Grm. Kohlensäure aus.

4. 0,1930 Grm. Vanadinsäure trieben
0,1353 Grm. Kohlensäure aus.

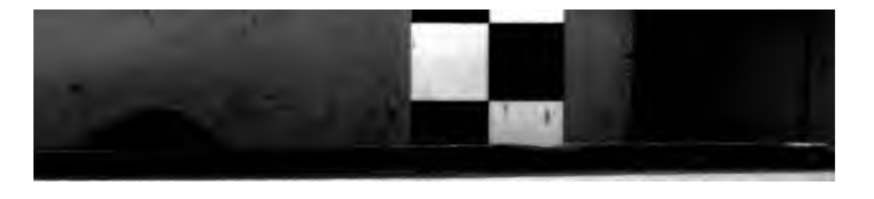
Hiernach berechnet sich in den einzelnen Versuchen das Atomverhältnifs der Vanadinsäure zur Kohlensäure:

| | $VO_3$ | $CO_2$ |
|---|---|---|
| 1. | 1 | : 3,17 |
| 2. | 1 | : 2,99 |
| 3. | 1 | : 2,98 |
| 4. | 1 | : 2,95 |
| Mittel $VO_3 : CO_2$ = | 1 | : 3,02 |

Es folgt also, dafs ein Atomgewicht Vanadinsäure mit drei Atomgewichten Kohlensäure aequivalent ist, oder mit andern Worten, dafs die in der Glühhitze entstandenen normalen Salze der Vanadinsäure nach dem allgemeinen Ausdruck $\dot{R}_3 \dddot{V}$ zusammengesetzt sind.

Die Eigenschaft der Vanadinsäure, in ihren bei Glühhitze entstandenen Salzen die dreifache Sättigungscapacität von den auf nassem Wege hervorgebrachten zu besitzten, ist jedenfalls merkwürdig und scheint einen Fingerzeig für die Bildungsweise des wohlkrystallisirten Vanadinits abzugeben.

Die Vanadinsäure hat vor den niedern Oxyden des Vanadins den Vortheil voraus, dafs sie im isolirten Zustand erhalten werden kann, wogegen die Darstellung der letztern wegen ihrer überaus leichten Oxydirbarkeit im freien Zustande zur Unmöglichkeit wird. Die Gewichtsanalyse liefs aus diesem Grunde wenig Aufschlufs über die Zusam-





mensetzung der Oxydationsstufen des Vanadins erwarten; wohl aber konnte ich hoffen, dafs die in den letzten Jahren so vervollkommnete Maafsanalyse im Stande seyn würde diese Fragen in befriedigender Weise zu lösen.

Schon Berzelius machte die Beobachtung, dafs eine Mischung von Vanadinsäure und Chlorwasserstoffsäure beim Kochen Chlor entwickelt und das Vermögen besitzt, Gold zu lösen. Bunsen führte deshalb bei Beschreibung seiner iodometrischen Methode die Vanadinsäure unter der zahlreichen Reihe der sauerstoffabgebenden und dieser Bestimmungsmethode fähigen Körper auf. Die Anwendung dieses Verfahrens ist indessen auf die Vanadinsäure nie ausgedehnt worden, obgleich ihr Gelingen dem noch gänzlichen Mangel einer exacten Bestimmungsmethode für das Vanadin abgeholfen haben würde.

Wenn Vanadinsäure mit Chlorwasserstoffsäure unter Abgabe von Chlor digerirt wird, so entsteht eine grüne Lösung. Allgemein hat man die grüngefärbten Vanadinlösungen als eine variable Mischung von Vanadinsäure mit Vanadinoxyd $= VO_2$ betrachtet. Es kann jedoch aus mehreren Umständen geschlossen werden, dafs diese Annahme nicht immer richtig ist, sondern dafs in den grünen Lösungen ein besonderes, intermediäres Oxyd enthalten sey. Sie entstehen nicht nur bei der Behandlung von Vanadinsäure mit Chlorwasserstoff, sondern bilden sich auch allmählich durch freiwillige Reduction einer verdünnten schwefelsauren Vanadinsäurelösung an der Luft, durch Einleiten salpetriger Säure in eine saure Lösung der Vanadinsäure, sowie durch Oxydation einer verdünnten und möglichst neutralen Lösung des blauen schwefelsauren Vanadinoxydes. Entscheidender aber ist für diese Ansicht noch der Umstand, dafs eine schwefelsaure Vanadinsäurelösung durch Wasserstoff im *Status nascens* nur zur grüngefärbten Lösung reducirt wird. Enthielte diese noch Vanadinsäure, so müfste sie durch den Wasserstoff reducirt werden, und die Endreaction würde eine blaue Lösung darstellen.

Um den Grad der Oxydation in den grünen Lösungen

des Vanadins zu erfahren, wurden deshalb iodometrische Versuche angestellt. Die geschmolzene und darauf fein gepulverte Vanadinsäure wurde mit einem Ueberschufs von Chlorwasserstoffsäure im Mohr'schen Chlorabsorptionsapparat (Mohr. Lehrb. d. Titrirmethode I. Aufl. I, p. 313) längere Zeit hindurch gekocht, wobei das sich entwickelnde Chlor in eine Lösung von arsenigsaurem Natron geleitet wurde. Alsdann wurde die Menge der nicht oxydirten arsenigen Säure mit einer Iodlösung von bekanntem Titer bestimmt. Es konnten hierbei jedoch keine übereinstimmenden Zahlen in den einzelnen Versuchen erzielt werden, und die Methode erwies sich demnach für die Vanadinsäure als unanwendbar.

Ebenso ungünstig fiel das Resultat aus, welches durch längeres Erhitzen von abgewogenen Mengen Vanadinsäure und Goldblech mit Chlorwasserstoffsäure in zugeschmolzenen Gefäfsen erhalten wurde; denn die Zahlen, welche aus der in Lösung übergegangenen Menge Gold erhalten wurden, deuteten darauf hin, dafs die Vanadinsäure nur sehr unvollständig reducirt seyn könne. Die Unanwendbarkeit dieser Methode, sowie des vorhin erwähnten Titrirverfahrens scheint ihren Grund in der sehr langsamen Wirkung der Chlorwasserstoffsäure zu haben.

Die Reduction der Vanadinsäure zum Oxyde der grünen Lösung wird jedoch leicht und vollständig durch Wasserstoff im Entstehungsmoment bewirkt. Andererseits werden die Lösungen aller niedern Oxydationsstufen des Vanadins durch übermangansaures Kali zu Vanadinsäure oxydirt. Auf diesen Thatsachen beruht ein Verfahren, mittelst dessen man den Oxydationsgrad des Vanadins in den grünen Lösungen finden kann; aber auch allgemeiner gründet sich hierauf eine Methode, vermöge welcher man das Vanadin in Analysen leicht bestimmen kann.

Die Versuche zur Ermittlung der Zusammensetzung des in Rede stehenden Oxydes, geschahen in dieser Art: Eine abgewogene Menge Vanadinsäure wurde in Schwefelsäure gelöst, und darauf zur Lösung Wasser und Zink hinzuge

geben. Sobald die Wasserstoffgasentwicklung lange genug gewährt hatte, und das Zink ganz aufgelöst war, wurde mit einer Lösung von übermangansaurem Kali titrirt. Die Einwirkung desselben ist anfangs sehr kräftig, indem es sich augenblicklich entfärbt und die grüne Farbe der Vanadinoxydlösung abschwächt. Gegen Ende ist die Reaction weniger stark und erfordert eine gewisse Zeitdauer. Der Versuch ist als beendigt anzusehen, sobald auf einen weitern geringen Zusatz von Chamäleon die rothe Farbe nach Verlauf von einigen Minuten nicht mehr verschwindet. Ein Gehalt von Chlorkalium im Chamäleon ist schädlich, weil es sehr leicht eine Entwicklung von Chlor zur Folge hat.

1. 0,49395 Grm. Vanadinsäure, auf vorbeschriebene Weise reducirt, brauchten $269^{cc}$ Chamäleon, welche nach dem Tagestiter auf schwefelsaures Eisenoxydul-Ammoniak bezogen, 0,064829 Grm. oder 13,125 Proc. Sauerstoff entsprechen.

2. 0,1302 Grm. durch Wasserstoff im Entstehungsmoment reducirte Vanadinsäure erforderten $71,7^{cc}$ Chamäleon welche nach dessen Titer 0,0172797 Grm. oder 13,272 Proc. Sauerstoff gleich waren.

3. 0,1508 Grm. in derselben Art reducirter Vanadinsäure brauchten $67,7^{cc}$ Chamäleon, entsprechend 0,019314 Grm. oder 12,808 Proc. Sauerstoff.

4. 0,1497 Grm. Vanadinsäure, mit Zink und Schwefelsäure reducirt, brauchten $70,8^{cc}$ Chamäleon, welche 0,020198 Grm. oder 13,493 Proc. Sauerstoff aequivalent sind.

5. 0,1376 Grm. Vanadinsäure, reducirt wie vorhin, verbrauchten $59,9^{cc}$ Chamäleon, welche 0,017664 Grm. oder 12,837 Proc. Sauerstoff entsprechen.

Hiernach hatte ein Atom oder 92,5 Gewichtstheile Vanadinsäure bei der Reduction an Sauerstoff verloren in:

| | | |
|---|---|---|
| 1. | 12,1406 | Gewichtstheile Sauerstoff. |
| 2. | 12,2566 | » » |
| 3. | 11,8474 | » » |
| 4. | 12,4810 | » » |
| 5. | 11,8742 | » » |
| *Mittel:* | 12,1199 | |

Oder das Atomgewichtsverhältnifs der Vanadinsäure zum Sauerstoff beträgt in:

| | $VO_3$ | : | O |
|---|---|---|---|
| 1. | 1 | : | 1,5176 |
| 2. | 1 | : | 1,5321 |
| 3. | 1 | : | 1,4935 |
| 4. | 1 | : | 1,5601 |
| 5. | 1 | : | 1,4968 |
| Mittel: = | 1 | : | 1,5200 |

Es hat also die Vanadinsäure 1,5 Atomgewichte Sauerstoff verloren. Die Reduction durch nascirenden Wasserstoff geschieht dann nach der Gleichung:

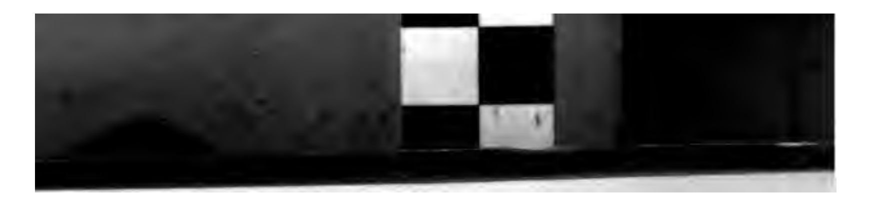
$$2VO_3 : 3H = V_2O_3, 3HO$$

und die entstandene Oxydationsstufe ist ein Sesquioxyd.

Da die Menge des Sauerstoffs in demjenigen Vanadinoxyde, welches in den blauen Lösungen enthalten ist, eine geringere, als diejenige im Vanadinoxyde der grünen Lösungen ist, so folgt schon hieraus, dafs die von Berzelius für das erstere angenommene Formel $VO_2$ nicht richtig seyn kann.

Ich werde im Folgenden nach Analogie für die Nomenklatur anderer Grundstoffe, welche mehrere elektropositive Oxyde bilden, das Sesquioxyd des Vanadins kurzweg Vanadinoxyd nennen, während ich das niedere und von Berzelius Vanadinoxyd genannte Oxyd als Vanadinoxydul bezeichnen werde.

Der Grund, weshalb Berzelius für das Vanadinoxydul die Formel $VO_2$ aufstellte, beruht auf einer Analyse des schwefelsauren Salzes. Er bestimmte darin die Schwefelsäure als schwefelsauren Baryt und das Vanadin durch Glühen des Salzes als Vanadinsäure. Das Salz enthält aber aufserdem Krystallwasser, und so konnte aus den beiden Versuchszahlen keine Formel für dasselbe aufgestellt werden; denn zwei andere Factoren, nämlich die Menge des Wassers und des Sauerstoffs im Vanadinoxydul waren unbekannt. Berzelius machte deshalb die Annahme, dafs der Sauerstoffgehalt in der Säure das Dreifache von dem





in der Basis sey, wie es neutrale schwefelsaure Salze zeigen. Diese Hypothese ist jedoch nicht gerechtfertigt, weil das Salz aus saurer Lösung entstanden war, und somit ein saures Salz gebildet seyn konnte, in dem der Sauerstoff von Säure zu Basis sich nicht wie 3:1 verhält.

Als fernere Bestätigung für die Zusammensetzung des Vanadinoxyduls fällte es Berzelius aus dem schwefelsauren Salz mit kohlensaurem Natron, trocknete es, befreite es durch Glühen im luftleeren Raum von Wasser und setzte es dann in der Hitze einem Strom von Wasserstoffgas aus. Es leuchtet ein, dafs der hierbei entstandene Gewichtsverlust einer partiellen Oxydation des sehr begierig sauerstoffaufnehmenden Vanadinoxyduls zugeschrieben werden kann, da völliger Luftabschlufs wohl schwerlich bei der Darstellung des Vanadinoxyduls zu erzielen seyn möchte. Uebrigens mufs ich erwähnen, dafs das Vanadinoxydul durch kohlensaures Natron garnicht ausgefällt werden kann.

Als das beste Verfahren, nach welchem die Zusammensetzung des Vanadinoxyduls ermittelt werden kann, stellte sich dessen Oxydirbarkeit durch übermangansaures Kali heraus. Eine abgewogene Menge Vanadinsäure wurde in Schwefelsäure gelöst. Die Lösung wurde mit Wasser stark verdünnt und mit Schwefelwasserstoff behandelt, bis sich dessen Vorwalten durch den Geruch deutlich bemerkbar machte. Die blaue Lösung der nun reducirten Vanadinsäure wurde darauf so lange erhitzt, bis ein mit Bleizuckerlösung getränkter Streifen Fliefspapier von dem aufsteigenden Dampf nicht mehr gebräunt wurde. Alsdann wurde mit einer Chamäleonlösung auf gewöhnliche Weise titrirt.

1. 0,1920 Grm. Vanadinsäure erforderten nach dieser Behandlung $31^{cc}$ Chamäleon, entsprechend 0,031957 Grm. oder 16,644 Proc. Sauerstoff.

2. 0,0723 Grm. auf dieselbe Weise reducirter Vanadinsäure brauchten $12{,}2^{cc}$ Chamäleon = 0,012576 Grm. oder 17,395 Proc. Sauerstoff.

3. 0,1115 Grm. Vanadinsäuren, reducirt wie vorhin, brauchten $18{,}2^{cc}$ Chamäleon, welche 0,018764 Grm. oder *16,828 Proc.* Sauerstoff entsprechen.

Nach diesen Versuchen verlor ein Atom oder 92,5 Gewichtstheile Vanadinsäure bei der Reduction in

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. | 15,39575 | Gewichtstheile | Sauerstoff. |
| 2. | 16,09013 | » | » |
| 3. | 15,56630 | » | » |
| Mittel: | 15,68406 | | |

Oder nach den Atomgewichtszahlen berechnet, war das Verhältnifs von Vanadinsäure zum Sauerstoff in

| | $VO_3$ | : | O |
|---|---|---|---|
| 1. | 1 | : | 1,9245 |
| 2. | 1 | : | 2,0113 |
| 3. | 1 | : | 1,9458 |
| Mittel = | 1 | : | 1,9605 |

Hieraus ergiebt sich der Schlufs, dafs die Vanadinsäure bei der Reduction zum Vanadinoxydul zwei Atome Sauerstoff abgiebt. Die hierbei stattbabende Zersetzung geht nach der Gleichung

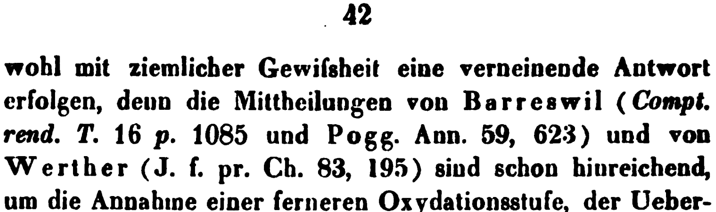
$$VO_3 : 2HS = VO, 2HO, 2S$$

vor sich, und das gebildete Vanadinoxydul ist ein Monoxyd.

Das von Berzelius untersuchte schwefelsaure Vanadinoxyd $= \dot{\dot{V}}\dddot{S}_2 + 4\dot{H}$ ist deshalb als zweifach schwefelsaures Vanadinoxydul zu betrachten und mufs nach den Versuchszahlen von Berzelius die Formel $\dot{V}\dddot{S}_2 + 5\dot{H}$ erhalten, welche verlangt:

| | berechnet | | gefunden |
|---|---|---|---|
| VO | 76,5 | 37,97 | 37,458 |
| $2SO_3$ | 80,0 | 39,70 | 40,516 |
| 5HO | 45,0 | 22,33 | 22,036 |
| | 201,5 | 100,00 | 100,000. |

Als Resultat dieser Untersuchungen läfst sich mit Sicherheit das Vorhandensein dreier Oxydationsstufen des Vanadins feststellen, nämlich eines Monoxydes, eines Sesquioxydes und eines Trioxydes. Eine andere Frage ist es, ob dieses die einzigen Verbindungen sind, welche das Vanadin mit dem Sauerstoff einzugehen fähig ist? Hierauf kann





wohl mit ziemlicher Gewifsheit eine verneinende Antwort erfolgen, denn die Mittheilungen von Barreswil (*Compt. rend. T.* 16 *p.* 1085 und Pogg. Ann. 59, 623) und von Werther (J. f. pr. Ch. 83, 195) sind schon hinreichend, um die Annahme einer ferneren Oxydationsstufe, der Uebervanadinsäure, als gerechtfertigt erscheinen zu lassen.

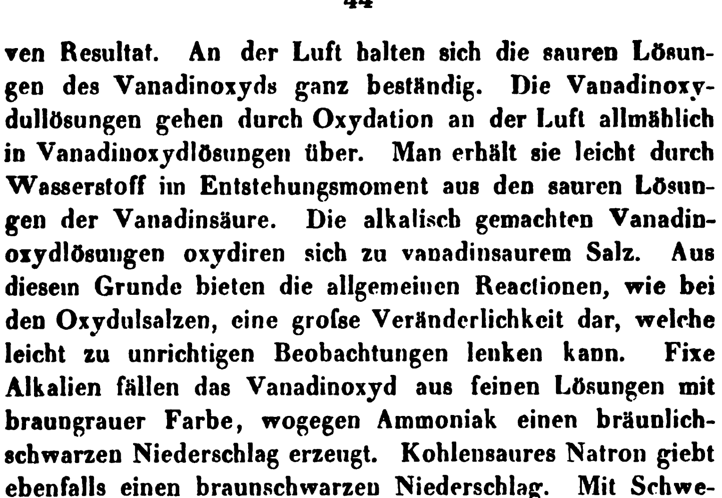
Schliefslich will ich noch eine allgemeine Charakteristik von den drei Oxyden des Vanadins entwerfen.

Das *Vanadinoxydul* VO ist sowohl identisch mit dem Vanadinsuboxyd Berzelius', als auch mit dessen Vanadinoxyd. Auf trocknem Wege wird es am besten durch Glühen von Vanadinsäure in einem Wasserstoffstrom erhalten. Es stellt dann eine moorschwarze Masse dar, die bei Luftabschlufs unschmelzbar ist, bei Luftzutritt dagegen allmählich durch Oxydation zu Vanadinsäure schmilzt. Säuren lösen es, mit Ausnahme der Salpetersäure, nicht merklich. Diese Indifferenz zu Säuren kann nicht befremden und keineswegs zu der Annahme leiten, dafs es ein Suboxyd sey, wenn man bedenkt, dafs auch basische Oxyde anderer Metalle nach dem Glühen schwer, oder gar nicht von Säuren angegriffen werden.

Wenn man vanadinsaures Ammoniak mit Chlornatrium innig gemischt im bedeckten Tiegel schmilzt, so bildet sich ebenfalls Vanadinoxydul. Aber es befindet sich dann in einem viel leichter oxydirbaren Zustand, wird von Säuren und in geringer Menge sogar von Wasser gelöst. Die dunkelstahlblaue Schmelze setzt nach der Behandlung mit Wasser das Vanadinoxydul als schweres, schwarzes Pulver ab. Beim Aussüfsen färbt sich das Waschwasser um so deutlicher, je geringer sein Gehalt an Chlornatrium wird und geht durch Oxydation von der blauen durch die grüne in eine braungelbe Farbe über. Auf nafsem Wege läfst sich das Vanadinoxydul nicht gut erhalten, denn es oxydirt sich mit grofser Leichtigkeit, wenn es aus seinen Lösungen mit Ammoniak niedergeschlagen wird. Die Vanadinoxydulsalze besitzen eine rein azurblaue Farbe (vom Ansehn des schwefelsauren Kupferoxydes); die neutralen sind merklich dunk-

ler gefärbt, als die sauren. Sie sind in Wasser löslich, krystallisiren schwer, oder trocknen zu gummiartigen Massen ein. Ihre Lösungen, besonders wenn sie nicht stark sauer sind, oxydiren sich an der Luft mehr oder minder schnell; in saurer oder neutraler Lösung schreitet die Oxydation des Vanadinoxyduls bis zum Oxyd, in alkalischer Lösung bis zur Säure. Man erhält die Vanadinoxydulsalze aus den sauren Lösungen der Vanadinsäure oder des Vanadinoxyds durch Reduction mit Schwefelwasserstoff, Zinnchlorür Oxalsäure, Zucker usw. Die allgemeinen Reactionen, welche sie zeigen, sind bei der grofsen Wandelbarkeit der erhaltenen Niederschläge trügerisch. Fixe Alkalien geben einen schwachen braungrauen Niederschlag, und die Flüssigkeit färbt sich cafféebraun; Ammoniak fällt das Vanadinoxydul vollständig, es erzeugt im ersten Augenblick einen grauen Niederschlag, der sehr bald an Volumen schwindet und Rostfarbe annimmt. Kohlensaures Natron wirkt verschieden, je nachdem die Lösungen concentrirter oder verdünnter sind. Operirt man mit möglichst starken Flüssigkeiten, so erhält man eine dunkelbraune, klare Lösung deren Farbe durch Erhitzen an Intensität zunimmt. Diese Reaction ist empfindlich genug, um auch noch sehr geringe Mengen von Vanadin erkennen zu lassen. Bedient man sich aber schwächerer Lösungen, so tritt bei vorsichtigem Zusatz von kohlensaurem Natron zur Vanadinoxydullösung ein hellbläulicher Niederschlag ein, der sich auf einen gröfsern Zusatz von kohlensaurem Natron wieder löst und beim Stehen allmählich, beim Erwärmen schnell die braune Lösung liefert. Schwefelammonium erzeugt einen mifsfarbigen, braungrauen Niederschlag und die überstehende, vanadinhaltige Flüssigkeit ist braun gefärbt. Ferrocyankalium und Ferridcyankalium geben grüngelbe Niederschläge.

Das *Vanadinoxyd* $V_2O_3$ ist bis jetzt nur in Lösung bekannt. Dieselbe besitzt eine unreine, dunkelgrüne Farbe. Die Salze krystallisiren nicht, oder, wie es scheint, nur sehr schwer. Die wenigen Versuche, welche ich mit zwar nur geringen Mengen gemacht habe, führten zu keinem positi-





ven Resultat. An der Luft halten sich die sauren Lösungen des Vanadinoxyds ganz beständig. Die Vanadinoxydullösungen gehen durch Oxydation an der Luft allmählich in Vanadinoxydlösungen über. Man erhält sie leicht durch Wasserstoff im Entstehungsmoment aus den sauren Lösungen der Vanadinsäure. Die alkalisch gemachten Vanadinoxydlösungen oxydiren sich zu vanadinsaurem Salz. Aus diesem Grunde bieten die allgemeinen Reactionen, wie bei den Oxydulsalzen, eine grofse Veränderlichkeit dar, welche leicht zu unrichtigen Beobachtungen lenken kann. Fixe Alkalien fällen das Vanadinoxyd aus feinen Lösungen mit braungrauer Farbe, wogegen Ammoniak einen bräunlichschwarzen Niederschlag erzeugt. Kohlensaures Natron giebt ebenfalls einen braunschwarzen Niederschlag. Mit Schwefelammonium erhält man eine braune Lösung neben einem schwarzen Niederschlage. Ferrocyankalium und Ferridcyankalium erzeugen blaugrüne Fällungen.

Die grünen Vanadinlösungen, welche aus der Vanadinsäure durch Reduction mit Chlorwasserstoff oder den niedern Oxydationsstufen des Stickstoffs entstehen, stimmen mit den hier mitgetheilten Reactionen nicht überein, welche sich auf eine schwefelsaure Vanadinoxydlösung beziehen, die sich aus möglichst neutralem schwefelsaurem Vanadinoxydul durch Oxydation an der Luft bei monatelangem Stehen gebildet hatte. Ich bin nicht im Stande anzugeben ob ihnen ein besonderes Oxyd des Vanadins zu Grunde liegt, oder ob sie ebenfalls Vanadinoxyd enthalten, und die Verschiedenheit in ihrem Verhalten zu Reagentien nur auf der Anwesenheit von Vanadinoxydul oder Vanadinsäure beruht.

Die *Vanadinsäure* $VO_3$ bildet sich stets aus den niedern Oxyden des Vanadins durch Oxydation an der Luft, wenn sie für sich geglüht werden, oder sich in alkalischer Lösung befinden. In saurer Lösung bewirkt nur übermangansaures Kali die Oxydation der niedern Oxyde zur Säure. Mit Wasser bildet sie nach Fritzsche ein Hydrat. Mit Basen verbindet sie sich zu mehreren Reihen von Salzen, von

denen bis jetzt auf nassem Wege die neutralen $= \dot{R}\dddot{V}$, die zweifachsauren $= \dot{R}\dddot{V}_2$, die $\frac{5}{3}$sauren $= \dot{R}_3\dddot{V}_5$ (oder vielleicht $= \dot{R}\dddot{V} + 2\dot{R}\dddot{V}_2$) und die dreifachsauren $= \dot{R}\dddot{V}_3$, und auf trocknem Wege die drittelsauren Salze $= \dot{R}_3\dddot{V}$ bekannt sind. Gegen Säuren verhält sich die Vanadinsäure wie eine Basis und bildet mit ihnen theils krystallisirende Salze. Die neutralen vanadinsauren Salze sind weifs oder gelb; ein Unterschied, der in verschiedenen Modificationen der Säure bedingt ist. Die sauren Salze besitzen eine gelbrothe Farbe. Die allgemeinen Reactionen, welche die neutralen Salze zeigen, sind folgende: Mit Säuren versetzt, färben sie sich gelb oder roth. Salpetersaures Silberoxyd, salpetersaures Quecksilberoxydul, Chlorbaryum und essigsaures Bleioxyd erzeugen weifse oder gelbe, in Säuren leicht lösliche Niederschläge. Schwefelammonium giebt eine klare, braune Lösung, woraus Säuren schwarzbraunes Schwefelvanadin fällen. Ferrocyankalium giebt einen gelben, gelatinösen Niederschlag. Ferridcyankalium ist ohne Einwirkung. In saurer Lösung werden sie durch sauerstoffentziehende Mittel leicht zu grünen oder blauen Flüssigkeiten reducirt, durch ozonisirende dagegen zu intensiv blutrothen Flüssigkeiten oxydirt.

Die hier beschriebenen Untersuchungen haben über die chemische Beschaffenheit des Vanadins manche Aufklärung gegeben; sie haben aber noch sehr viel übrig gelassen, die Natur des Vanadins in einer Weise zu beleuchten, wie es wohl erwünscht wäre. Bei der gegenwärtigen, noch so geringen Kenntnifs dieses Metalles schon wissenschaftliche Speculationen zu machen, und es in engere Beziehung zu andern Stoffen bringen zu wollen, halte ich für verfrüht und sehr gewagt, da der Gesichtspunkt, aus dem man bis jetzt das Vanadin in's Auge fassen kann, zu beschränkt und zu exclusiv ist.





## III. *Ueber die Untersuchung plan-paralleler Platten; von August Kundt.*

Bei der vielfachen Anwendung die plan-parallele Glas- oder Krystallplatten bei physikalischen Untersuchungen finden, mufs sich der Beobachter oft selbst von der Güte der Platten überzeugen, und nöthigenfalls den Neigungswinkel der Seiten derselben bestimmen. Die Methode, deren man sich hierzu bei der Untersuchung der Sextantenspiegel [1]) und der Sonnenblendgläser bedient, wird für beliebige Platten schwer oder gar nicht anwendbar seyn. Das von Hrn. Oertling angegebene Verfahren und das von ihm zur Untersuchung plan-paralleler Gläser ausgeführte Instrument [2]) erfreuen sich freilich einer Vollkommenheit, die Nichts zu wünschen läfst, aber nur in den wenigsten Fällen dürfte das Oertling'sche Instrument zu Gebote stehen, in vielen Fällen würde aber eine Untersuchung mit demselben für den Zweck, den man im Auge hat, zu mühsam und zeitraubend seyn.

Das im Folgenden angegebene Verfahren ist seinem Wesen nach nicht neu, da es sich auf die Betrachtung der an der Vorder- und Rückseite der Platte reflectirten Bilder gründet, aber die hier gegebene Anordnung desselben hat sich mir in vielen Fällen als ganz aufserordentlich practisch bewiesen, da gerade diese Anordnung erlaubt, demselben, ohne die Untersuchung zu compliciren, eine bedeutende Schärfe zu ertheilen. Ich erlaube mir daher das Verfahren mitzutheilen und zugleich wenigstens die Formeln für die Bestimmung des etwaigen Neigungswinkels der Platte anzugeben.

Sendet ein leuchtender Punkt seine Strahlen unter möglichst grofsem Einfallswinkel auf eine durchsichtige Platte, so wird ein Auge, welches sich in der Richtung des reflec-

1) Brünnow: Sphärische Astronomie S. 531.
2) Diese Annal. Bd. 59.

tirten Strahls befindet, nicht nur ein Spiegelbild, sondern eine Anzahl derselben sehen, oft 10 bis 12, die von der wiederholten Reflection an der Vorder- und Rückseite der Platte herrühren. Die Anzahl der Bilder und ihre Entfernung von einander hängen vom Einfallswinkel, der Absorption, der Gröfse und der Dicke der Platte ab.

Ist nun die Platte genau plan-parallel, so werden die Bilder, wenn man den leuchtenden Punkt von derselben entfernt, jedoch ohne den Einfallswinkel zu ändern, einander näher rücken, und wenn der leuchtende Punkt in die Unendlichkeit gekommen ist, sich so decken, dafs man nur ein Spiegelbild sieht. Dabei sind immer die Reflectionswinkel der einzelnen Bilder an der Vorderfläche der Platte [1]) dem Einfallswinkel gleich.

Sind dagegen die Seiten der Platte zwar eben, machen sie aber einen kleinen Winkel mit einander, so werden die Reflectionswinkel der Spiegelbilder an der Vorderfläche weder dem Einfallswinkel, noch auch unter einander gleich seyn. Es wird, was Oertling für das erste und zweite Bild zeigt, allgemein gelten. Kehrt die Platte dem leuchtenden Punkt ihre dickere Seite zu, so werden die Reflectionswinkel an der Vorderfläche mit der Reihe der Spiegelbilder an Gröfse abnehmen, dagegen zunehmen, wenn die Platte dem Object ihre spitze Seite zuwendet. Daraus folgt nun unmittelbar, dafs für ein dicht vor der Platte befindliches Auge, beim Entfernen des Objects unter demselben Einfallswinkel, die ganze Reihe der Spiegelbilder auseinander rückt, dagegen im zweiten Fall zusammenrückt bis sich alle decken, und dafs dann alle Bilder auf der andern Seite des ersten wieder hervortreten und nun auseinander gehen.

Man wird sich die Lage der Bilder in jedem Falle leicht durch eine Figur anschaulich machen können, man kann sich aber auch durch Rechnung von der Richtigkeit der

1) Die Winkel, die die an der Rückseite reflectirten Strahlen bei ihrem Austritt an der Vorderfläche mit dem Loth auf dieser Fläche machen, sind als »Reflectionswinkel an der *Vorderfläche*« bezeichnet.

Betrachtung überzeugen. Dabei wird im Folgenden der Einfachheit wegen immer angenommen, dafs die Reflection in der Richtung des Neigungswinkels der Platte erfolge, also senkrecht auf der Durchschnittslinie der verlängert gedachten Seitenflächen. Diese Richtung wird auf der Platte leicht dadurch gefunden, dafs in ihr das Maximum der Abstände der Spiegelbilder von einander stattfinden mufs.

Betrachtet man nur die beiden ersten Bilder und bezeichnet dann $P$ den Einfallswinkel des Strahles vom leuchtenden Punkt, $p$ den zugehörigen Brechungswinkel, $Q$ den Reflectionswinkel des zweiten Bildes an der Vorderfläche $q'$ den zugehörigen Brechungswinkel, $\delta$ den Neigungswinkel der Seiten der Platte, endlich $r$ den Winkel, den der einmal gebrochene Strahl mit der Rückseite der Platte macht, so ist, wenn die dickere Seite dem Object zugewendet ist:

$$p + r = 90^\circ + \delta$$
$$q + r = 90^\circ - \delta$$
$$q = p - 2\delta$$

Es ist aber auch

$$\sin P : \sin p = \sin Q : \sin q$$

also

$$\sin Q = \frac{\sin P \sin (p + 2\delta)}{\sin p}.$$

Mithin $Q < P$, das heifst, der Reflectionswinkel des zweiten Bildes an der Vorderfläche kleiner als der Einfallswinkel, also auch kleiner als der Reflectionswinkel des ersten, wie oben angegeben.

Bezeichnet man für die zweite Lage der Platte dieselben Gröfsen mit gestrichelten Buchstaben, so ist:

$$p' + r' = 90^\circ - \delta$$
$$q' + r' = 90^\circ + \delta$$

und analog wie im Vorigen

$$\sin Q' = \frac{\sin P' \sin (p' + 2\delta)}{\sin p'}$$

also hier $Q' > P'$ was oben behauptet wurde.

Für die folgenden Bilder kann man ganz ebenso verfahren; für das dritte tritt an die Stelle von $P$ und $P'$ einfach $Q$ und $Q'$ usw.





Will man nun eine plan-parallele Platte untersuchen, so stelle man dieselbe auf einem Tisch vertical auf, oft aber genügt es auch schon sie einfach in der Hand zu halten. In einer angemessenen Entfernung stelle man ein Licht so auf, daſs man, wenn man das Auge dicht an die Platte bringt, eine Reihe möglichst getrennt liegender Bilder der Flamme sieht. Statt nun aber durch Entfernen der Flamme von der Platte diese zu untersuchen, kehre man, wenn nicht sogleich die Lage der Bilder ergiebt, daſs kein Parallelismus vorhanden, indem dieselben zwischen das erste und die Platte fallen, also bereits durch den Kreuzungspunkt gegangen sind, die Platte um, so daſs die Kante die vorher dem Auge zunächst lag, nun der Flamme am nächsten liegt.

Befinden sich die Bilder dann noch in derselben Lage und Entfernung, so ist die Platte plan-parallel, hat sich aber die Lage oder nur die Distanz der Bilder von einander geändert, so machen die Flächen einen Winkel mit einander, und nach welcher Richtung sie convergiren, ist nach dem Obigen leicht zu entscheiden.

*Der Versuch erfordert nur einen Augenblick, und doch giebt er, richtig angestellt, noch die kleinsten Abweichungen vom Parallelismus mit groſser Schärfe an.*

Sind die Flächen der Platte nicht vollkommen eben, so wird auch in einer Richtung auf derselben, z. B. der Richtung des Neigungswinkels, nicht die Lage und Entfernung der Spiegelbilder von einander überall gleich seyn, auch wenn die Platte in derselben Lage bleibt; so daſs, indem man den leuchtenden Punkt sich nach einander auf verschiedenen Stellen derselben Linie der Platte spiegeln läſst, man aus der Constanz oder Veränderlichkeit der Lage der Bilder zu einander auf die Ebenheit oder Unebenheit der Platte schlieſsen kann. Handelt es sich nicht bloſs darum, zu untersuchen ob eine Platte plan-parallel ist oder nicht, sondern will man auch den etwaigen Neigungswinkel selbst bestimmen, so kann man auf Grund des Vorigen zwei Wege einschlagen. Der erste schlieſst sich den bekannten an, der zweite unterscheidet sich dadurch von jenem, daſs





man aufser dem Einfallswinkel keine weitern Winkel zu messen nöthig hat, sondern dafür lineare Gröfsen einführt.

Die folgenden Betrachtungen beschränken sich auf die ersten beiden Spiegelbilder, es wird keine Schwierigkeit haben die Methoden auch auf die andern Bilder anzuwenden.

### Erste Methode zur Bestimmung von $\delta$.

Man stelle die zu untersuchende Platte vertical auf, und schaffe sich einen gut begränzten leuchtenden Punkt der seine Strahlen so auf die Platte schickt, dafs man eine Reihe Spiegelbilder sieht. Sind das Object, die Platte und das Auge in einer horizontalen Ebene, so wird die Reflectionsebene dann in der Richtung des Neigungswinkels liegen, wenn auch die Reihe der Spiegelbilder horizontal ist. In diese Lage bringe man die Platte. Ein Mefsinstrument oder ein blofses Fernrohr mit Micrometervorrichtung wird möglichst nahe an der Platte so angebracht, dafs man wenigstens die beiden ersten Spiegelbilder sieht. Man mifst sodann den Winkel, den diese beiden mit einander machen, und noch einmal denselben Winkel, nachdem man die Platte, wie oben angegeben, umgelegt hat. Es ist nur dafür zu sorgen, dafs der einfallende Strahl wieder denselben Punkt der Platte trifft und die Reflection in derselben Ebene erfolgt.

Es war oben für die eine Lage der Platte

$$\sin Q = \frac{\sin P \sin (p - 2\delta)}{\sin p}$$

für die andere

$$\sin Q' = \frac{\sin P' \sin (p' - 2\delta)}{\sin p'}.$$

In unserm Fall ist aber der Einfallswinkel derselbe geblieben, also $P = P'$, mithin auch $p = p'$. Setzt man diefs ein, so findet man durch Addition und Subtraction und Umformung,

$$(1)\quad \sin \frac{Q' + Q}{2} \cdot \cos \frac{Q' - Q}{2} = \frac{\sin P}{\sin p} \sin p \cdot \cos 2\delta$$

$$(2)\quad \cos \frac{Q' + Q}{2} \cdot \sin \frac{Q' - Q}{2} = \frac{\sin P}{\sin p} \cos p \cdot \sin 2\delta.$$

Nun sind $\frac{Q'-Q}{2}$ und $2\delta$ kleine Gröfsen, es ist also erlaubt für die cos derselben (1) und für die sin die Bögen zu setzen.

Dann erhält man aus (1)

$$\tfrac{1}{2}(Q'+Q)=P$$

und diefs in (2) eingesetzt, giebt

$$\delta=\tfrac{1}{4}\frac{\operatorname{tg} p}{\operatorname{tg} P}(Q'-Q).$$

$P$ ist der Einfallswinkel, dieser mufs also gemessen werden; es wird aber, wenn derselbe auch nicht sehr scharf bestimmt ist, doch der Factor $\frac{\operatorname{tg} p}{\operatorname{tg} P}$ noch hinreichend genau seyn. $p$ ist bekanntlich gegeben durch

$$\sin p = n \sin P$$

wo $n$ das Brechungsverhältnifs von der Luft in die Platte bezeichnet, welches immer hinreichend bekannt seyn wird. $Q'-Q$ ist aber nichts Anderes als genähert die Differenz der Winkelabstände der beiden Spiegelbilder in den beiden Lagen der Platte. $Q'-Q$ würde genau jener Differenz gleich seyn, wenn der Punkt, wo der Strahl vom zweiten Bilde die Oberfläche der Platte schneidet, in beiden Lagen derselbe wäre. Die Entfernung dieses Punktes von demjenigen, wo der einfallende Strahl die Platte trifft, ist aber in der einen Lage, wenn $d$ die Dicke der Platte bezeichnet,

$$d\operatorname{tg}p+d\operatorname{tg}(p-2\delta)$$

in der andern,

$$d\operatorname{tg}p+d\operatorname{tg}(p+2\delta).$$

Der Unterschied dieser Gröfsen wird aber zu vernachlässigen seyn, und ist dann nur das Fernrohr nahe genug an der Platte aufgestellt, während der leuchtende Punkt ziemlich fern liegt, so ist $Q'-Q$ genau genug gleich der Differenz der Winkelabstände der beiden Bilder, also gemessen. Mithin ist $\delta$ bestimmt.

Es ist nur zu beachten, dafs die gemessenen Winkel $Q'$ und $Q$ positiv zu nehmen sind, wenn das erste Bild zwi-





schen die Platte und das zweite fällt, dagegen negativ, wenn das zweite Bild zwischen dem ersten und der Platte liegt.

War das Fernrohr nicht nahe genug aufgestellt, um seine Entfernung von der Platte zu vernachlässigen, so kann man die gemessenen Winkel leicht vom Fernrohr auf die Platte reduciren.

### Zweite Methode zur Bestimmung von $\delta$.

Man stelle die Platte, mit der spitzen Seite nach dem leuchtenden Punkt, vertical so auf, dafs man eine Reihe Bilder sieht, und die Reflectionsebene in die Richtung des Neigungswinkels fällt. Alsdann entferne man den leuchtenden Punkt so lange von der Platte, wobei der Einfallswinkel derselbe bleiben soll, bis alle Bilder sich vollkommen decken. Den Beweis dafür, dafs es einen solchen Punkt, giebt, übergehe ich, da er ohne Schwierigkeit zu führen ist.

Betrachtet man wieder nur die beiden ersten Bilder, so war für die Lage, wenn die spitze Seite dem Object zugewendet ist, gefunden, wenn die Striche der Buchstaben weggelassen werden,

$$(1) \quad q - p = 2\delta.$$

Bezeichnet man ferner den kleinen Winkel, den der Strahl des ersten Spiegelbildes mit dem des zweiten Bildes macht, mit $\alpha$, so wird man finden

$$Q - P = \alpha.$$

Sodann betrachte man das Dreieck, welches durch die beiden Richtungen nach den beiden ersten Spiegelbildern und der Linie auf der Platte gebildet wird, welche den Punkt, wo der erste Strahl einfällt mit demjenigen verbindet, in dem der Strahl des zweiten Bildes die Platte verläfst. Für diese Entfernung war oben gefunden

$$d \operatorname{tg} p + d \operatorname{tg}(p + 2\delta).$$

Bezeichnet nun $E$ die Entfernung des leuchtenden Punktes von dem Punkt auf der Platte, wo die Strahlen einfallen, so ist in dem betrachteten Druck eigentlich nur die eine Seite gleich $E$, wir werden aber auch für die andere





vollständig genau $E$ setzen, da der hierdurch begangene Fehler sicher unter der Gränze der Genauigkeit der Messung von $E$ liegen wird.

Man erhält dann aus dem genannten Dreieck

$$\sin(90^\circ + P) : \sin\alpha = E : d\operatorname{tg} p + d\operatorname{tg}(p + 2\delta).$$

Daraus folgt, wenn man, da $\alpha$ klein ist, für den sinus den Bogen setzt,

$$\alpha = \frac{d\operatorname{tg} p + d\operatorname{tg}(p + 2\delta)}{E} \cdot \cos P.$$

$\alpha$ ist natürlich noch in Theilen des Radius ausgedrückt.

Da aber $2\delta$ klein ist, so kann man als erste Näherung $p + 2\delta = p$ setzen, und erhält dann

$$(2)\quad Q = P + \frac{2d\operatorname{tg} p \cdot \cos P}{E}.$$

Die Entfernung des leuchtenden Punktes und die Dicke der Platte sind leicht hinreichend scharf zu messen, kennt man also nur noch $P$, so kann man aus den Formeln (1) und (2) in Verbindung mit den Gleichungen

$$\sin p = n \sin P$$
$$\sin q = n \sin Q$$

$\delta$ bestimmen.

Ist $\delta$ dann bestimmt, so kann man in (2) für $2d\operatorname{tg} p$ den schärferen Werth $d\operatorname{tg} p + d\operatorname{tg}(p + 2\delta)$ einsetzen und die Rechnung wiederholen.

Den Winkel $P$ wird man nach den Hülfsmitteln die gerade zu Gebote stehen, so gut als möglich bestimmen, es ist aber nur nöthig, dafs er so scharf bestimmt sey, dafs in dem Ausdruck

$$\frac{2d\operatorname{tg} p \cdot \cos P}{E}$$

kein Fehler entsteht.

Der Fehler den $P$ enthält überträgt sich nämlich abgesehen von diesem Ausdruck, mit derselben Gröfse und demselben Zeichen auf $Q$, daher haben auch $q$ und $p$ dann nahezu denselben Fehler, der sich mithin in der Differenz der beiden, also in $\delta$ eliminirt. Jener Ausdruck wird aber durch ein nur nahezu richtiges $P$ nicht allzusehr verfälscht werden, man mufs sich nur von der Gränze der Genauig-





keit in den einzelnen Fällen überzeugen. Meistens wird es schon hinreichen $P$ aus $E$ und einer andern linearen Gröfse, etwa dem Loth auf die Platte vom leuchtenden Punkt, zu berechnen.

## IV. *Ueber einige krystallisirte Zinnhüttenproducte von Schlackenwalde und krystallisirte Legirungen im Allgemeinen; von C. Rammelsberg.*

Unter einer Sammlung von Hüttenproducten des bekannten böhmischen Zinnwerkes befanden sich mehre durch ihre Form und Zusammensetzung nicht ganz uninteressante. Zuvörderst zwei krystallisirte Legirungen, sodann eine Verbindung von Zinnsäure und Wolframsäure mit den Oxyden des Eisens und Mangans. Leider bin ich aufser Stande, über die Bildung dieser Körper etwas zu sagen.

### 1. Legirung von Kupfer und Zinn.

Lange, zum Theil sehr dünne Prismen von *weifser* Farbe, äufserlich schön goldgelb angelaufen. Die Prismen sind offenbar *sechsgliedrig*, da die sechs Flächen derselben, den Messungen zufolge, Winkel von nahe 120° bilden; Endflächen lassen sich nicht wahrnehmen. Sie sind halbgeschmeidig und haben ein specifisches Gewicht = 6,994. Die Analyse ergab

| | |
|---|---|
| Kupfer | 18,91 |
| Zinn | 80,83 |
| | 99,74 [1]). |

Diese Legirung erinnert durch ihre Form und Zusam-

1) Solche und ähnliche Legirungen lösen sich langsam in kochender Chlorwasserstoffsäure auf; die Auflösung ist *farblos*, und enthält Zinn und Kupfer als Oxydule.

mensetzung an eine in Strafsburg aufbewahrte, welche nach Miller[1]) gleichfalls regulär sechsseitige Prismen, senkrecht zur Axe spaltbar, bildet. Sie hatte sich in einem verzinnten Kessel gebildet, ist gelblichweifs, dehnbar, und hat ein spec. Gewicht = 7,53. Nach einer Analyse von Roth enthält sie

| | |
|---|---|
| Kupfer | 21,28 |
| Zinn | 77,62 |
| | 99,51 |

Daraus ergiebt sich

| | $Cu^3 Sn^7$ | | oder | $Cu = Sn^2$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 At. Kupfer | = 95,1 | = 18,77 | 1 At. | = 31,7 | = 21,23 |
| 7 » Zinn | = 411,6 | = 81,23 | 2 » | = 117,6 | = 78,77 |
| | 506,7 | 100. | | 149,3 | 100. |

II. Legirung von Eisen und Zinn.

Hellgraue feine, zum Theil äufserst zarte Nadeln oder Prismen, oft bunt angelaufen, die bei näherer Prüfung sich als achtseitig ergeben mit Winkeln von 90° und 135°, so dafs sie als Combinationen zweier quadratischen Prismen, und trotz des Mangels an Endflächen als *viergliedrig* zu betrachten sind. Ihr spec. Gewicht ist = 7,534. Sie enthalten

| | |
|---|---|
| Eisen | 8,05 |
| Zinn | 92,01 |
| | 100,06 |

und sind in Chlorwasserstoffsäure langsam auflöslich, indem sich Eisen- und Zinnchlorür bilden.

Eine solche Zusammensetzung liegt zwischen

| | $Fe Sn^5$ | | und | $Fe = Sn^6$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 At. Eisen | = 28 | = 8,7 | 1 At. | = 28 | = 7,36 |
| 5 » Zinn | = 294 | = 91,3 | 6 » | = 352,8 | = 92,64 |
| | 322 | 100. | | 380,8 | 100. |

Lassaigne beschrieb eine solche Legirung[2]), die sich bei der Destillation von Zinnamalgam in eisernen Retorten

1) Diese Ann. Bd. 36. S. 478.
2) *Journ. Chim. méd. T. VI. p.* 609.





bildet, als glänzende quadratische Prismen erscheint, die spröde sind und ein spec. Gewicht = 8,733 haben, was wohl zu hoch angegeben ist. Sie lösen sich schwer in Chlorwasserstoffsäure, werden von Salpetersäure nicht angegriffen und enthalten

| | |
|---|---|
| Eisen | 57,9 |
| Zinn | 42,1 |
| | 100, |

d. h. sie entsprechen $Fe^3 Sn$,

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3 At. Eisen | = 84 | = | 58,8 |
| 1 » Zinn | = 58,8 | = | 41,2 |
| | 142,8 | | 100. |

Ferner beobachtete neuerlich Nöllner [1]), dafs beim Auflösen grofser Mengen Banca-Zinn für die Zinnsalzfabrikation eine Zinneisenlegirung in rechtwinklig vierseitigen, jedoch nur mikroskopischen Prismen zurückbleibt, die in ihren Eigenschaften der vorhergehenden gleicht, ein spec. Gewicht = 7,446 hat nach Nöllner aber aus

| | |
|---|---|
| Eisen | 19,41 |
| Zinn | 80,59 |
| | 100. |

besteht, also $Fe Sn^2$

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 At. Eisen | = 28 | = | 19,23 |
| 2 At. Zinn | = 117,6 | = | 80,77 |
| | 145,6 | | 100. |

ist.

Diese Legirung ist in der Masse des Zinns aufgelöst oder fein zertheilt enthalten, denn wenn man gröfsere Mengen Banca-Zinn einschmilzt, ruhig stehen läfst, und das Flüssige abgiefst, so bleibt ein mit feinen Nadeln durchwebter Bodensatz des Metalls, dessen spec. Gew. = 7,341, und worin nach Nöllner 5,9 Proc. Eisen sich finden. In viel gröfserer Menge kommen aber solche Legirungen in dem unreineren Rohzinn vor, welches durch Einschmelzen oder vielmehr Saigern auf dem Pauschheerd gepauscht oder raffinirt wird. Der halbgeschmolzene Rückstand auf dem

1) Ann der Chem. und Pharm. Bd. 115, S. 233.

Heerde, von welchem das reinere Metall abgeflossen ist, führt den Namen *Dörner*, und eine Probe von Altenberg, welche Berthier untersuchte, enthielt nach Abzug von Kohle und Schlacken

| | |
|---|---|
| Eisen | 26,44 |
| Zinn | 72,52 |
| Wolfram | 1,04 |
| | 100. |

Rechnet man Wolfram zum Zinn, so würde das Ganze $Fe^3 Sn^4$ seyn,

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3 At. Eisen | = 84 | = | 26,32 |
| 4 » Zinn | = 235,2 | = | 73,68 |
| | 319,2 | | 100. |

Selbst in den Vorheerden der Schachtöfen beim Verschmelzen des Zinnerzes scheidet sich aus dem flüssigen Zinn eine harte weiſse Legirung aus, *Härtlinge* genannt, von denen eine Probe von Altenberg nach Berthier aus

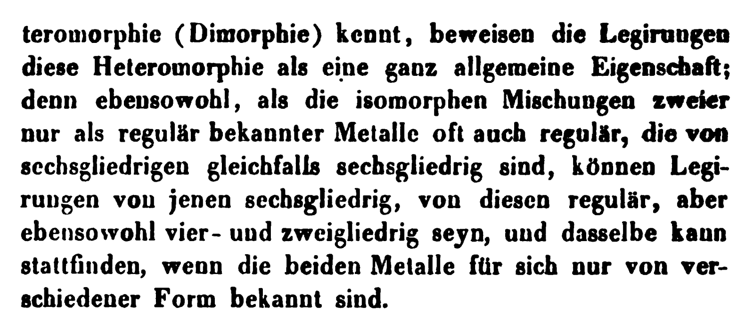
| | |
|---|---|
| Eisen | 64,14 |
| Zinn | 32,17 |
| Wolfram | 1,64 |
| | 97,95 |

bestand.

Eine Legirung $= Fe^4 Sn$ muſs enthalten:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 At. Eisen | = 112 | = | 65,57 |
| 1 » Zinn | = 58,8 | = | 34,43 |
| | 170,8 | | 100. |

Die krystallisirten Metalllegirungen müssen, wie mir scheint, als *isomorphe Mischungen* der Metalle betrachtet werden, deren Zusammensetzung deswegen ohne Aenderung der Form wechselt, nicht immer ganz einfach, aber um so lehrreicher ist, als sich die Isomorphie und die Heteromorphie der Metalle in ihnen vielfach zu erkennen giebt. Denn während die Form der einzelnen Metalle, den bisherigen Erfahrungen gemäſs, entweder regulär (Gold, Silber, Kupfer, Blei, Eisen usw.) oder sechsgliedrig (Arsenik, Antimon, Tellur, Wismuth, Zink usw.) oder viergliedrig (Zinn) ist, und man noch wenig Beispiele von ihrer He-





teromorphie (Dimorphie) kennt, beweisen die Legirungen diese Heteromorphie als eine ganz allgemeine Eigenschaft; denn ebensowohl, als die isomorphen Mischungen zweier nur als regulär bekannter Metalle oft auch regulär, die von sechsgliedrigen gleichfalls sechsgliedrig sind, können Legirungen von jenen sechsgliedrig, von diesen regulär, aber ebensowohl vier- und zweigliedrig seyn, und dasselbe kann stattfinden, wenn die beiden Metalle für sich nur von verschiedener Form bekannt sind.

*Regulär* krystallisirte Legirungen werden von Metallen gebildet, die beide regulär sind, aber ebensowohl von solchen, von denen wenigstens das eine nicht regulär ist. Zu den ersten gehört das gediegene Gold, dessen Silbergegehalt in den Krystallen oft sehr bedeutend ist, das natürliche Amalgam (Silberamalgam), welches bald $AgHg^2$, bald $AgHg^3$ ist, das krystallisirte Werkblei oder silberhaltige Blei usw. Zu den letzteren gehört das Messing, welches oft in den gestrickten Formen, wie sie regulär krystallisirte Körper zeigen, erscheint, und aus dem regulären Kupfer und dem sechsgliedrigen Zink hervorgeht [1]). Eine Probe desselben erwies sich als eine Mischung von 2 At. Kupfer und 1 At. Zink (gefunden 67,64 Kupfer und 31,84 Zink; berechnet = 66,11 Kupfer und 33,89 Zink). Selbst die kupferreicheren Legirungen, der sogenannte Rothgufs (moderne Bronce) zeigen öfter deutlich krystallinische, obwohl nicht näher bestimmbare Theile. Eine Probe der Art, welche aus 86,94 Kupfer, 10,06 Zink, 2,20 Zinn, 1,15 Blei besteht würde etwa $Cu^8Zn$ seyn, wenn man Zinn und Blei dem Zink hinzurechnet. Hausmann hat übrigens das krystallisirte Messing bereits beobachtet [2]) und G. Rose hat [3]) neuerlich ebenfalls darauf aufmerksam gemacht, und daraus die Dimorphie des Zinks abgeleitet.

Unter den Mineralien findet sich eine ausgezeichnete Gruppe regulär krystallisirter Legirungen, welche isomorphe

1) S. mein Lehrb. der Metallurgie Berlin 1850 S. 20.
2) Beiträge zur metallurgischen Krystallkunde S. 5.
3) Diese Ann. Bd. 107, S. 448.

Mischungen dieser Art in einer doppelten Weise sind. Ich meine die als Speiskobalt, Weifsnickelkies, Tesseralkies etc. bezeichneten Substanzen. Es sind Legirungen des für gewöhnlich sechsgliedrigen Arseniks mit dem regulären Nickel, Kobalt und Eisen, so dafs sie häufig eine Mischung aus den drei betreffenden Arsenieten darstellen. Lange glaubte man, dafs dieselben stets 1 At. Arsenik gegen 1 At. Nickel (Kobalt, Eisen) enthalten, neuere Analysen krystallisirter Speiskobalte haben indessen gelehrt, dafs diefs Verhältnifs nicht das einzige ist, dafs ebensowohl $R^4 As^3$, als $R^3 As^4$ und $R^2 As^3$ (Tesseralkies, Arsenikkobaltkies) vorkommen, so dafs auch R mit As isomorph, und der allgemeine Ausdruck für die Zusammensetzung der Gruppe $R^m As^n$ ist.

*Sechsgliedrig* krystallisirte Legirungen werden sich leicht aus zwei Metallen von dieser Form bilden, wovon die isomorphen Mischungen von Tellur und Wismuth, das Tellurwismuth, ein Beispiel liefern, obwohl dieselben zum Theil auch Schwefel enthalten. Viel interessanter ist die Klasse sechsgliedriger Legirungen, in welchen ein oder beide Metalle für sich nicht in dieser Form bekannt sind.

Rothnickelkies und Antimonnickel, d. h. $Ni^2 As$ und $Ni^2 Sb$, gehören hierher, welche aus dem sechsgliedrigen Arsenik (Antimon) und dem regulären Nickel hervorgehen. Ferner die oben beschriebenen Legirungen aus 1 At. Kupfer und 2 At. Zinn, aus einem regulären und einem viergliedrigen Metall hervorgegangen.

*Viergliedrige* Legirungen aus dem viergliedrigen Zinn und dem regulären Eisen sind wahrscheinlich die oben erwähnten Legirungen $FeSn^6$, $FeSn^2$, $Fe^3 Sn$. Matthiessen hat neuerlich durch Zusammenschmelzen von *Zinn und Gold* Legirungen dargestellt, welche viergliedrig krystallisiren; der Goldgehalt der Krystalle variirt von 27 bis 43 Proc. es sind also isomorphe Mischungen, welche von $AuSn^9$ bis $AuSn^4$ gehen. Die besten Krystalle gab die Mischung $AuSn^5$, welche 40 Proc. Gold enthält. Die Krystalle sind





nach Miller[1]) Combinationen von Oktaëdern beiderlei Ordnung und der Endfläche, nach letzterer vollkommen spaltbar. Das eine jener Quadratoktaëder (*d*), welches Miller als das erste stumpfere bezeichnet, stimmt mit seinem Hauptoktaëder (*o*) des Zinns nahe überein.

| | Endkantenwinkel | Seitenkantenwinkel |
|---|---|---|
| *d* von Goldzinn | 137°30′ | 61°30′ |
| *o* » Zinn | 140°24′ | 57°14′. |

Ebenso vergleichen sich das Hauptoktaëder dieser Legirungen und das des Bors

| | | |
|---|---|---|
| *o* von Goldzinn | 125°44′ | 80°20′ |
| *o* » Bor | 126°56′ | 78°20′ |

Offenbar sind diese Legirungen mit dem Zinn und Bor isomorph, und das Gold ist in ihnen viergliedrig. Eine Kobaltspeise von Blaufarbenwerken, welche nach Wöhlers Analyse Drittel-Arseniknickel, $Ni^3 As$, ist, krystallisirt viergliedrig[2]). Offenbar ist sie mit dem Zinn isomorph, denn das herrschende Quadratoktaëder desselben (*o*) und eines der beim Zinn vorkommenden $\left(\frac{o}{3}\right)$ stimmen nahe überein, insofern

| | 2A (Endkantenwinkel) | 2C (Seitenkantenwinkel) |
|---|---|---|
| bei *o* von $Ni^3 As$ | = 106°28′ | 115°39′ |
| » $\frac{o}{3}$ von Sn | = 105°48′ | 117°8′ |

ist. Das Axenverhältnifs $a : c$ ergiebt sich hieraus =

$$1 : 1{,}124 = 0{,}8894 : 1$$
$$1 : 1{,}156 = 0{,}8652 : 1$$

als nahe übereinstimmend. In dieser Mischung sind also das für gewöhnlich reguläre Nickel und das sechsgliedrige Arsenik viergliedrig. Ein *Goldamalgam* von Mariposa in Californien, welches nach Sonnenschein[3]) = $Au Hg^3$ ist, und ein spec. Gewicht = 15,47 hat, bildet mikroskopische quadratische Prismen; es wäre sehr interessant, wenn

1) *Proceed. Roy. Soc. T. XI, p.* 433.
2) G. Rose in diesen Ann. Bd. 28 S. 433.
3) Zeitschr. d. deutsch. geolog. Ges. Bd. 6 S. 243.

sich die viergliedrige Form und die Isomorphie des Goldes und Quecksilbers mit dem Zinn hieraus ergäbe.

*Zweigliedrige* Legirungen sind mehrfach beobachtet worden. Durch Zusammenschmelzen von Antimon und Zink erhielt Cooke [1]) zwei Legirungen, deren Analyse auf

I. $SbZn^3$ und II. $SbZn^2$

führte, welche ($Sb = 120{,}3$ genommen) enthalten [2]).

| | I. | II. |
|---|---|---|
| Antimon | 55,23 | 64,92 |
| Zink | 44,77 | 35,08 |
| | 100. | 100. |

Nach Cooke sind beide Legirungen zweigliedrig; II krystallisirt in Rhombenoktaëdern, für welche

$$a : b : c = 0{,}761 : 1 : 0{,}96$$

ist; I bildet rhombische Prismen in Combination mit den drei Hexaïdflächen, welche sich auf jene Oktaëder beziehen lassen, wenn man sie als $4a : 5b : \infty c$ betrachtet (berechnet: 117°14'; beobachtet: 117°0'). Beide Legirungen haben offenbar dieselbe Krystallform; auch ihre spec. Gew. ($I = 6{,}327$, $II = 6{,}384$) sind wenig verschieden, und gewifs krystallisiren beide Metalle, die für sich sechsgliedrig sind, in noch anderen stöchiometrischen Verhältnissen in der nämlichen zweigliedrigen Form. Für das Zink wäre demnach eine Trimorphie (regulär, sechsgliedrig, zweigliedrig) nachgewiesen.

Das *Antimonsilber* ist, älteren Analysen zufolge, theils $Ag^4Sb$, theils $Ag^6Sb$. Seine Krystallform ist zweigliedrig, und nach Miller ist $a : b : c = 0{,}577 : 1 : 0{,}6715$. 0,577 ist $= \frac{3}{4} . 0{,}769$, und $0{,}6715 = \frac{2}{3} . 1{,}007$, so dafs die Axenwerthe des Antimonsilbers und Antimonzinks rationale und einfache Verhältnisse zeigen, beide Körper mithin ungezwungen für isomorph zu halten sind. Neue Analysen des Antimonsilbers sind sehr wünschenswerth, um die Zusammen-

1) Diese Ann. Bd. 96. S. 584.

2) Cooke hat das ältere unrichtige Atomgewicht des Antimons (129) bei Berechnungen angenommen.

setzung und deren Schwankungen genau zu bestimmen. Hiernach kann auch das Silber zweigliedrig krystallisiren.

Ferner beschrieb Miller [1]) ein krystallisirtes Hüttenproduct, welches nach der Analyse von Dick = $CuNi^3 Bi^4$ ist, und in Rhombenoktaëdern mit starker Abstumpfung der Endecken krystallisirt, nach der Endfläche vollkommen spaltbar ist, und ein spec. Gew. = 9,46 hat. Aus Millers Messungen folgt $a : b : c = 0,7305 : 1 : 1,0337$, was den Werthen für Antimonzink so nahe kommt, dafs auch diese Mischung mit dem letztern und dem Antimonsilber isomorph ist, und daraus für Kupfer, Nickel und Wismuth die zweigliedrige Krystallform folgt.

Nach Breithaupt wäre Arseniknickel NiAs dimorph, käme in zweigliedrigen Krystallen von höherem spec. Gewicht (7,0; das reguläre nur 6,4 bis 6,7) vor. Angeblich sind es Prismen von 123 bis 124°, und die Form ist vielleicht die nämliche, wie die gleichfalls noch wenig bekannte des Arsenikeisens ($Fe^4 As^3$), an welchem man ein Prisma von 122°26′ mit einem anderen von 128°40′ combinirt angiebt.

Betrachtet man die angeführten Thatsachen als beweisend, so würden demnach folgende Metalle heteromorph seyn:

| Regulär. | Sechsgliedrig. | Viergliedrig. | Zweigliedrig. |
|---|---|---|---|
| Gold | | Gold | |
| Silber | | | Silber |
| Quecksilber | | Quecksilber | |
| Kupfer | Kupfer | | Kupfer |
| Eisen | Eisen | Eisen | Eisen |
| Nickel (Co) | Nickel (Co) | Nickel (Co) | Nickel (Co) |
| | Zinn | Zinn | |
| | Arsenik | Arsenik | Arsenik |
| | Antimon | | Antimon |
| | Wismuth | | Wismuth |
| Zink | Zink | | Zink. |

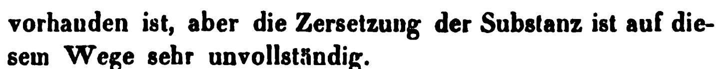
1) Phil. Mag. Juli 1856

### III. Verbindung von Wolframsäure, Zinn- und Kieselsäure mit Eisen- und Manganoxydul.

Wahrscheinlich durch zufälliges Zusammenschmelzen von Wolfram mit Zinnstein und Quarz hat sich ein schwarzes krystallinisches Product gebildet, welches zum Theil sogar krystallisirt ist. Die Krystalle sind sehr klein, glänzend, lang prismatisch, den Messungen zufolge rechtwinklich vierseitig, in einer Richtung tafelartig, an den Enden nicht ausgebildet. Ihr Pulver ist bräunlich grau; ihr spec. Gewicht ist 4,524. In die Masse sind einzelne Parthien der Kupfer-Zinn-Legirung eingewachsen.

Vor dem Löthrohr schmelzen dünne Splitter ziemlich leicht. Mit Phosphorsalz erhält man in der äufseren Flamme eine gelbe Perle, welche in der inneren auf Zusatz von Zinn amethystfarbig wird. Erhitzt man das Pulver mit Chlorwasserstoffsäure, so entsteht eine schöne blaue Auflösung, welche sich bald klärt, indem sich der blaue Körper ausscheidet, indessen nach kurzer Zeit unter Absatz von Wolframsäure sich entfärbt. Salpetersäure greift die Verbindung selbst in der Wärme nicht an. Königswasser (oder ein Gemisch von chlorsaurem Kali und Chlorwasserstoffsäure) zersetzt das Pulver; es scheidet sich gelbe Wolframsäure aus, welche Kieselsäure enthält, und es entsteht eine gelbe Auflösung von Zinnsäure, Eisenoxyd und Manganoxydul, aber es gehört zur vollständigen Zersetzung ein längeres Digeriren oder Kochen.

Kalilauge ist im Kochen ohne Wirkung. Beim Schmelzen mit Kalihydrat entsteht eine Zersetzung; die intensiv grüne Masse giebt mit Wasser eine grüne Auflösung, die sich durch Alkohol entfärbt, indem Manganoxyd niederfällt, und einen braunschwarzen Rückstand der basischen Oxyde, der aber nicht frei von Zinn- und Wolframsäure ist. Aehnlich verhält sich kohlensaures Natron. Schmilzt man das Pulver mit Schwefel und kohlensaurem Natron, so erhält man durch Behandlung mit Wasser eine schwarzgrüne Auflösung, in welcher Zinn, Wolfram und Eisen





vorhanden ist, aber die Zersetzung der Substanz ist auf diesem Wege sehr unvollständig.

Beim Glühen in Wasserstoffgas verlor das Pulver 2,98 Proc. am Gewicht, ohne sein Ansehen zu ändern.

Die quantitative Analyse bietet einige Schwierigkeiten und nach mehreren Versuchen zeigte sich die Zersetzung durch Königswasser als die passendste Methode. Nach längerem Kochen, wenn keine unzersetzte Substanz mehr zu bemerken ist, verdünnt und filtrirt man.

*a*) Der gelbe Rückstand wird mit Ammoniak digerirt; dabei löst sich Wolframsäure auf, nebst etwas Zinnsäure während ein weifser Rückstand bleibt, der aus Kieselsäure und wenig Zinnsäure besteht, und den man nach dem Glühen und Wägen mit Fluorwasserstoffsäure behandelt, um beide zu trennen. Die Auflösung in Ammoniak dampft man ab, glüht bei Luftzutritt, und behandelt die zinnhaltige Wolframsäure mit Salmiak, wie im nachfolgenden Aufsatz beschrieben werden wird.

*b*) Die gelbe Auflösung dunstet man im Wasserbade zur Trockne ab, behandelt den Rückstand mit etwas Säure, dann mit Wasser, filtrirt die Kieselsäure ab, und schlägt durch Schwefelwasserstoffgas das Zinn als Sulfid nieder, welches man in Zinnsäure verwandelt. Eisen und Mangan werden in dem wieder oxydirten Filtrat durch kohlensaures und essigsaures Natron getrennt.

Die Resultate einer vollständigen Analyse in dieser Art und die von anderen mehr oder weniger brauchbaren sind:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Wolframsäure | 36,43 | | 35,33 | |
| Zinnsäure | 31,98 | | | |
| Kieselsäure | 6,78 | | | |
| Eisenoxydul | 21,02 | 21,20 | 22,20 | |
| Manganoxydul | 5,01 | 4,60 | 4,67 | 5,25 |
| | 101,22 | | | |

Die Sauerstoffmengen sind:

| | | |
|---|---|---|
| Wolframsäure | 7,54 | 17,98 |
| Zinnsäure | 6,84 | |
| Kieselsäure | 3,60 | |
| Eisenoxydul | 4,67 | 5,81 - |
| Manganoxydul | 1,14 | |

Der Sauerstoff der Basen und der Säure ist = 1 : 3,1 also = 1 : 3. Der Sauerstoff der Kiesel-Zinn- und Wolframsäure verhält sich = 1 : 1,9 : 2,1, d. h. = 1 : 2 : 2. Das Ganze besteht also aus den isomorphen Verbindungen $\dot{R}\dddot{W}$, $\dot{R}^2\ddot{S}n^3$ und $\dot{R}^2\ddot{S}i^3$, ausdrückbar durch die Formel

$$4\dot{R}\dddot{W} + 3\dot{R}^3 \left\{ \begin{matrix} \ddot{S}n \\ \ddot{S}i \end{matrix} \right\}^3$$

$\dot{R}$ ist = $\frac{4}{5}\dot{F}e : \frac{1}{5}\dot{M}n$.

Dieses krystallisirte Hüttenproduct beweist die Isomorphie der Salze von Zinnsäure und Wolframsäure. Bekanntlich giebt es bis 9 Proc. Zinnsäure enthaltende Tantalite (Ixiolit), woraus die Isomorphie zinnsaurer und tantalsaurer Salze folgt, während andererseits der Columbit $\dot{R}\dddot{N}b$ die Krystallform des Wolframs hat, und in der That öfter etwas Wolframsäure und Zinnsäure enthält, was H. Rose [1]) zu der Ansicht geführt hat, Wolframsäure (und Molybdänsäure) enthalte 2 At. Metall. Diefs erklärt indessen nicht die Isomorphie der Unterniobsäure oder der Wolframsäure mit der Zinnsäure, und ich glaube, dafs die Isomorphie der Verbindungen $\dot{R}\dddot{W}$, $\dot{R}\dddot{N}b$, $\dot{R}^2\ddot{S}n^3$ nicht an die übereinstimmende Constitution dieser Säuren gebunden ist. Auch habe ich früher schon nachgewiesen [2]), dafs vanadinsaures Bleioxyd $\dot{P}b^3\dddot{V}$ mit phosphorsaurem Bleioxyd $\dot{P}b^3\dddot{P}$ isomorph ist (zu Beresow kommen Vanadinbleierz und Pyromorphit in regelmäfsiger Verwachsung vor).

1) Diese Ann. Bd. 118 S. 414.
2) Ebendas. Bd. 98 S. 249.





## V. *Ueber die Trennung von Zinnsäure und Wolframsäure; von C. Rammelsberg.*

Nach H. Rose[1]) trennt man beide Säuren durch Glühen in einem Strom von Wasserstoffgas. Indem man die Reduction in einem Porzellantiegel vornimmt, erhält man einen Gewichtsverlust, bestehend aus dem Sauerstoff der Zinnsäure, welche zu Metall wird, und einem Drittel des Sauerstoffs der Wolframsäure, welche sich in Wolframoxyd verwandelt. Durch Kochen der Masse mit Chlorwasserstoffsäure löst man das Zinn auf, welches man durch Schwefelwasserstoffgas fällen kann, während man das Wolframoxyd durch Glühen an der Luft in Wolframsäure verwandelt.

Bei der Analyse der im vorhergehenden Aufsatze beschriebenen Verbindung von Zinnsäure und Wolframsäure mit Eisen- und Manganoxydul war ich veranlafst, die beschriebene Methode zu versuchen, und wandte zuvörderst gewogene Mengen der beiden Säuren an.

I. 1,065 reine Zinnsäure und 2,375 reine Wolframsäure verloren nach dem ersten fast halbstündigen Glühen (bei der Temperatur etwa, bei welcher Zinnstein unter gleichen Umständen reducirt wird) 0,43; bei stärkerem Glühen noch 0,115, zusammen 0,445, und bei noch längerer Dauer des Processes abermals 0,085, zusammen 0,63.

100 Theile des angewandten Gemenges enthielten:

| | | Sauerstoff | | |
|---|---|---|---|---|
| Zinnsäure | 30,96 | 6,625 | | 6,625 |
| Wolframsäure | 69,04 | 14,291 | $\frac{1}{3}$ = | 4,764 |
| | 100 | 20,916 | | 11,389 |

Wenn also die Zinnsäure zu Metall, die Wolframsäure zu Oxyd reducirt wird, mufs der Verlust 11,39 Proc. betragen. Statt dessen betrug er

1) *Traité complet de Chimie analytique. Analyse quantitative. Paris* 1861. *p.* 486. Dexter in diesen Ann. Bd. 92 S. 335.

nach dem ersten Glühen 12,50 Proc.
» » zweiten » 15,84 Proc.
» » dritten » 18,31 Proc.

es war also wohl schon anfangs ein Theil metallisches Wolfram entstanden, dessen Menge natürlich später zunahm.

Der Rückstand hätte mit Chlorwasserstoffsäure nur eine farblose Auflösung von Zinnchlorür geben sollen [1]); statt dessen gab er eine blaue, später braune Auflösung, während ein Theil zurückblieb, der beim Glühen an der Luft gelbe Wolframsäure bildete. Die braune Auflösung liefs sich filtriren, aber beim Verdünnen entfärbte sie sich und liefs gelbe Wolframsäure fallen.

Es glückt also nicht, die Reduction mit Sicherheit so zu leiten, dafs die der Wolframsäure nur bis zum Oxyd $WO^2$ geht, und es gelingt ebenso wenig, dasselbe durch Chlorwasserstoffsäure vom metallischen Zinn zu trennen.

II. Um zu erfahren, ob eine stärkere Hitze einer Gaslampe eine vollständige Reduction auch der Wolframsäure bewirke, wurden 1,222 Zinnsäure und 1,803 Wolframsäure in Wasserstoffgas stark geglüht. Der Gewichtsverlust war $= 0,491$ bis 0,631 bis 0,645.

100 Theile des Gemenges enthielten

| | | Sauerstoff |
|---|---|---|
| Zinnsäure | 40,4 | 8,645 |
| Wolframsäure | 59,6 | 12,337 |
| | 100 | 20,982 |

Jene Gewichtsverluste sind $= 16,23$ bis 20,86 bis 21,32 Proc., also noch etwas gröfser, als die Rechnung verlangt, vermuthlich in Folge einer Verflüchtigung von Zinn. Die Reduction ist aber in der That eine vollständige; die graue pulverige Masse enthielt weifse geschmeidige Zinnkörner; mit Chlorwasserstoffsäure gab sie eine farblose Auflösung mit Hinterlassung eines schwarzen Rückstandes, der beim Glühen an der Luft 0,778 gelbe Wolframsäure lieferte, entsprechend 58,78 Proc. (Verlust 0,82 Proc.).

1) Das metallische Wolfram wird von Säuren nicht angegriffen.

III. 2,212 Zinnsäure und 2,116 Wolframsäure hatten nach mehren Stunden starken Glühens 0,88 = 20,33 Proc. verloren.

Das Gemenge enthielt

| | | Sauerstoff |
|---|---|---|
| Zinnsäure | 51,11 | 10,937 |
| Wolframsäure | 48,89 | 10,120 |
| | 100 | 21,057. |

Auch in diesem Fall war die Reduction eine fast vollständige.

Die Methode H. Rose's läfst sich also anwenden unter der Voraussetzung, dafs man durch starke Hitze die Wolframsäure zu Metall reducirt. Man kann diesen Punkt freilich durch das constante Gewicht des Rückstandes nicht finden, weil dasselbe durch Verflüchtigung von Zinn sich dauernd vermindert, weshalb auch die directe Bestimmung dieses Metalls hierbei nicht von Werth ist.

H. Rose, welcher gezeigt hat, dafs Zinnsäure beim Glühen mit Salmiak sich vollständig verflüchtigt [1]), führt in seinem Handbuche der analytischen Chemie [2]) an, dafs die Wolframsäure sich hierbei nicht verändere, dafs aber bei Gegenwart von Alkalien sich Wolframoxyd, Wolframamid und Stickstoffwolfram bilden, wie aus Wöhlers Versuchen [3]) hervorgeht. Hiernach habe ich die Behandlung mit Chlorammonium als quantitatives Trennungsmittel beider Säuren im reinen Zustande versucht, und unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmafsregeln befriedigende Resultate erhalten.

Da die Verwandlung von Zinnsäure in flüchtiges Zinnchlorid längere Zeit erfordert, so ist die Behandlung des Gemenges mit der 6 bis 8fachen Menge Salmiak mehrfach

1) Diese Ann. Bd. 74 S. 573.
2) *Traité complet*, *T. I*, *p.* 334 *Paris* 1858, *p* .333 ist angegeben, dafs ein Gemenge von Wolframsäure und Chlorammonium die nachstehend angeführte Veränderung erleide.
3) *Traité complet Anal. quantit. p.* 479. Ann. Chem. u. Pharm. Bd. 73 *S.* 197.

so lange zu wiederholen, bis keine Gewichtsabnahme mehr erfolgt. Vor allem aber ist darauf zu achten, dafs der Porzellantiegel und sein Deckel sich aufserhalb nicht mit Zinnsäure beschlagen, die sich aus dem Zinnchlorid und der Feuchtigkeit der Umgebung von neuem bildet. Deshalb setzt man den bedeckten Tiegel in einen gröfseren gleichfalls bedeckten, und erhitzt diesen ziemlich stark. Die zurückbleibende Wolframsäure ist bald grün, bald schwärzlich gefärbt; sie wird an der Luft geglüht und dadurch gelb und von constantem Gewicht.

I. 0,6975 Zinnsäure und 0,7335 Wolframsäure gaben zuletzt einen Rückstand von 0,7225, der nach dem Glühen an der Luft 0,7255 wog. Die Differenz beträgt also 0,008 Wolframsäure, d. h. statt 51,26 Proc. derselben wurden 50,7 Proc. wieder erhalten.

II. 0,554 Zinnsäure und 1,332 Wolframsäure hinterliefsen 1,337 von letzterer, d h. statt 70,62 Proc. 70,89 Proc.

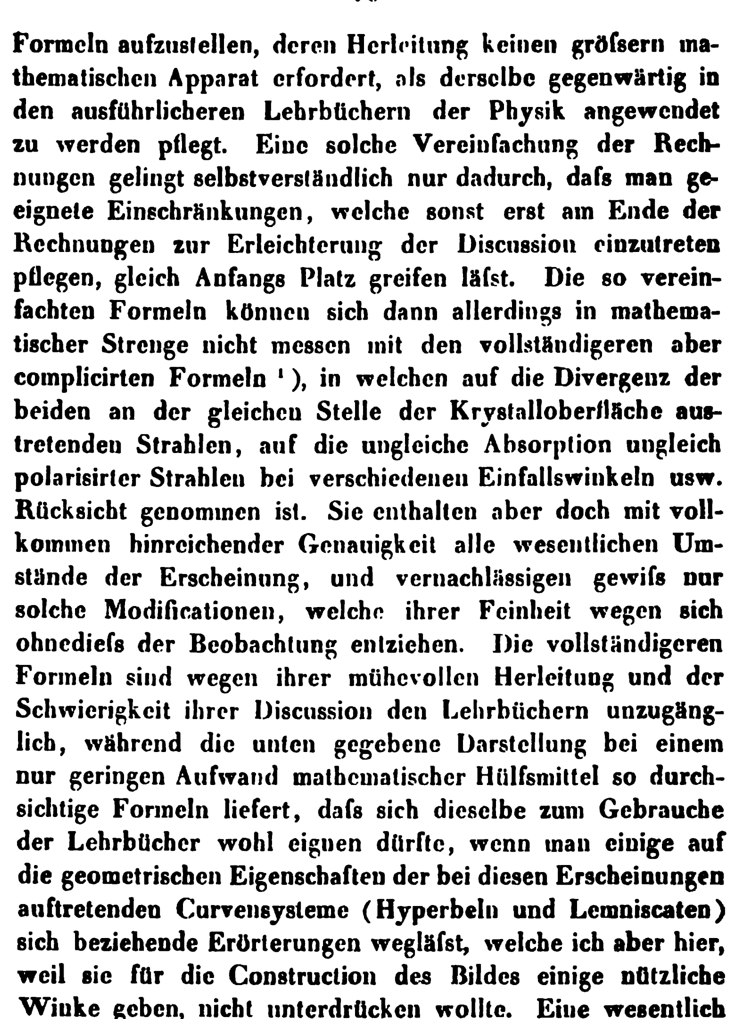
Dieser Methode habe ich mich bei der Trennung beider Säuren in der im vorhergehenden Aufsatz beschriebenen Verbindung bedient.

---

## VI. *Die Interferenzerscheinungen zweiaxiger, senkrecht zur ersten Mittellinie geschnittener Krystallplatten im homogenen polarisirten Licht;* *von Eugen Lommel,*

Professor in Schwyz.

Der in der Ueberschrift genannte Gegenstand ist schon so oft und so ausführlich behandelt worden, dafs zu dem bereits Bekannten wohl nichts wesentlich Neues hinzuzusetzen möglich ist. Meine Absicht kann daher nur die seyn, in den folgenden Zeilen einfache und leicht discutirbare



Formeln aufzustellen, deren Herleitung keinen gröfsern mathematischen Apparat erfordert, als derselbe gegenwärtig in den ausführlicheren Lehrbüchern der Physik angewendet zu werden pflegt. Eine solche Vereinfachung der Rechnungen gelingt selbstverständlich nur dadurch, dafs man geeignete Einschränkungen, welche sonst erst am Ende der Rechnungen zur Erleichterung der Discussion einzutreten pflegen, gleich Anfangs Platz greifen läfst. Die so vereinfachten Formeln können sich dann allerdings in mathematischer Strenge nicht messen mit den vollständigeren aber complicirten Formeln [1]), in welchen auf die Divergenz der beiden an der gleichen Stelle der Krystalloberfläche austretenden Strahlen, auf die ungleiche Absorption ungleich polarisirter Strahlen bei verschiedenen Einfallswinkeln usw. Rücksicht genommen ist. Sie enthalten aber doch mit vollkommen hinreichender Genauigkeit alle wesentlichen Umstände der Erscheinung, und vernachlässigen gewifs nur solche Modificationen, welche ihrer Feinheit wegen sich ohnediefs der Beobachtung entziehen. Die vollständigeren Formeln sind wegen ihrer mühevollen Herleitung und der Schwierigkeit ihrer Discussion den Lehrbüchern unzugänglich, während die unten gegebene Darstellung bei einem nur geringen Aufwand mathematischer Hülfsmittel so durchsichtige Formeln liefert, dafs sich dieselbe zum Gebrauche der Lehrbücher wohl eignen dürfte, wenn man einige auf die geometrischen Eigenschaften der bei diesen Erscheinungen auftretenden Curvensysteme (Hyperbeln und Lemniscaten) sich beziehende Erörterungen wegläfst, welche ich aber hier, weil sie für die Construction des Bildes einige nützliche Winke geben, nicht unterdrücken wollte. Eine wesentlich einfachere Darstellung glaube ich namentlich im ersten Paragraphen bei Berechnung der Curven gleicher Oscillationsrichtung erreicht zu haben [2]), während im zweiten Paragraphen, bei Ermittelung des Phasenunterschiedes, der Hauptsache nach die nämliche Entwickelung befolgt ist, welche

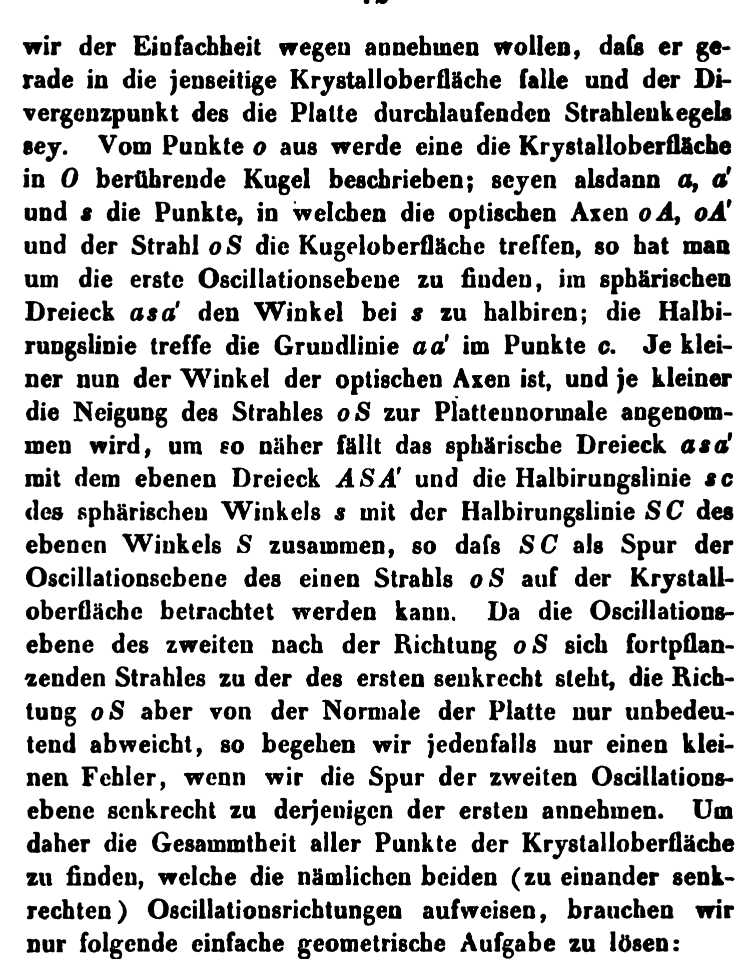
1) Neumann, Pogg. Ann Bd XXXIII. S. 257.
2) Vergl. Müller, Pogg. Ann. Bd. XLIV S. 273.

bereits in einigen Lehrbüchern [1]) ihre Stelle gefunden hat. Aus diesen beiden Elementen, der Oscillationsrichtung und dem Phasenunterschied, wird alsdann im dritten Paragraphen die Lichtstärke für jeden Punkt des Bildes abgeleitet und die Construction der Erscheinung für jede beliebige Stellung der den Krystall zwischen sich fassenden Turmalinplatten gelehrt.

### § 1. Die Oscillationsrichtung.

Die dem Auge zugewandte Oberfläche der Krystallplatte sey zugleich die Ebene der Fig. 1 Taf. I. Eine vom beobachtenden Auge auf die Platte herabgelassene Senkrechte treffe dieselbe in $O$ und verlaufe innerhalb der Krystallplatte in der Richtung der ersten Mittellinie, d. h. sie halbire den spitzen Winkel der beiden optischen Axen. Die Gerade $XOX'$ sey die Durchschnittslinie der Ebene der optischen Axen mit der Krystalloberfläche. In dieser Geraden seyen $A$ und $A'$ die Punkte, wo diejenigen Strahlen, welche im Innern des Krystalls in der Richtung der *secundären optischen Axen* fortgegangen sind, die Platte verlassen. Von jedem Punkte $S$ der Krystalloberfläche gelangen zwei Strahlen in gleicher Richtung in's Auge, welche jedoch durch ihre Oscillationsrichtung und Phase von einander abweichen; dieselben durchlaufen zwar im Krystall verschiedene Wege, wir können aber, da ihre Divergenz jedenfalls nur unbedeutend ist, mit hinreichender Genauigkeit annehmen, daſs dieselben innerhalb des Krystalls die nämliche Richtung verfolgen. Die Oscillationsebenen der beiden den Krystall in dieser Richtung durchsetzenden Strahlen sind aber nichts anderes als die zwei (nämlich die innere und die äuſsere) zu einander senkrechten Halbirungsebenen des Winkels, welchen zwei durch jene Richtung und die secundären optischen Axen gelegte Ebenen mit einander bilden. Die beiden in $A$ und $A'$ auslaufenden optischen Axen, in den Krystall hinein verlängert, schneiden sich auf der Mittellinie in einem Punkte $o$, von welchem

1) Z. B. Mousson, die Physik auf Grundlage der Erfahrung, Zürich 1860.



wir der Einfachheit wegen annehmen wollen, daſs er gerade in die jenseitige Krystalloberfläche falle und der Divergenzpunkt des die Platte durchlaufenden Strahlenkegels sey. Vom Punkte $o$ aus werde eine die Krystalloberfläche in $O$ berührende Kugel beschrieben; seyen alsdann $a$, $a'$ und $s$ die Punkte, in welchen die optischen Axen $oA$, $oA'$ und der Strahl $oS$ die Kugeloberfläche treffen, so hat man um die erste Oscillationsebene zu finden, im sphärischen Dreieck $asa'$ den Winkel bei $s$ zu halbiren; die Halbirungslinie treffe die Grundlinie $aa'$ im Punkte $c$. Je kleiner nun der Winkel der optischen Axen ist, und je kleiner die Neigung des Strahles $oS$ zur Plattennormale angenommen wird, um so näher fällt das sphärische Dreieck $asa'$ mit dem ebenen Dreieck $ASA'$ und die Halbirungslinie $sc$ des sphärischen Winkels $s$ mit der Halbirungslinie $SC$ des ebenen Winkels $S$ zusammen, so daſs $SC$ als Spur der Oscillationsebene des einen Strahls $oS$ auf der Krystalloberfläche betrachtet werden kann. Da die Oscillationsebene des zweiten nach der Richtung $oS$ sich fortpflanzenden Strahles zu der des ersten senkrecht steht, die Richtung $oS$ aber von der Normale der Platte nur unbedeutend abweicht, so begehen wir jedenfalls nur einen kleinen Fehler, wenn wir die Spur der zweiten Oscillationsebene senkrecht zu derjenigen der ersten annehmen. Um daher die Gesammtheit aller Punkte der Krystalloberfläche zu finden, welche die nämlichen beiden (zu einander senkrechten) Oscillationsrichtungen aufweisen, brauchen wir nur folgende einfache geometrische Aufgabe zu lösen:

*Für ein Dreieck von gegebener Grundlinie soll der geometrische Ort der Spitze so gesucht werden, daſs die Halbirungslinie des Winkels an der Spitze einen gegebenen Winkel mit der Grundlinie bildet.*

Man wähle $O$ (Fig. 1 Taf. I) zum Anfangspunkt und $AOA'$ zur Abscissenaxe eines Systems rechtwinkliger Coordinaten, bezeichne die halbe Grundlinie $OA$ mit $p$, den gegebenen Winkel $ACS$ mit $\alpha$, den Winkel $CAS$ mit $\mu$

und $CA'S$ mit $\nu$, endlich die Coordinaten $OM$ und $MS$ der Spitze mit $x$ und $y$. Man findet sogleich die Beziehung

$$2\alpha = 180^0 + \nu - \mu$$

oder

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \operatorname{tg}(\nu - \mu).$$

$$\operatorname{tg}\nu = \frac{y}{p+x} \text{ und } \operatorname{tg}\mu = \frac{y}{p-x}$$

folglich

$$\operatorname{tg}(\nu - \mu) = \frac{2xy}{x^2 - y^2 - p^2} = \operatorname{tg} 2\alpha,$$

welche bereits die Gleichung des verlangten Ortes ist. Bringt man sie auf die Form:

$$x^2 - y^2 - 2xy \operatorname{cotg} 2\alpha = p^2 \qquad (1)$$

so erkennt man sofort, dafs dieselbe für die verschiedenen Werthe von $\alpha$ ein System *gleichseitiger Hyperbeln* darstellt, *welche sämmtlich durch die Punkte A und A' hindurchgehen.*

Transformirt man diese Gleichung zu einem neuen rechtwinkligen Coordinatensystem, welches den nämlichen Anfangspunkt $O$ hat, dessen Abscissenaxe aber mit der ursprünglichen den Winkel $\beta$ einschliefst, indem man

$$x = x' \cos\beta - y' \sin\beta$$
$$\text{und } y = x' \sin\beta + y' \cos\beta$$

setzt, so erhält man zunächst:

$$(x'^2 - y'^2)(\cos 2\beta - \sin 2\beta \operatorname{cotg} 2\alpha)$$
$$- 2x'y'(\sin 2\beta + \cos 2\beta \operatorname{cotg} 2\alpha) = p^2.$$

Soll die neue Abscissenlinie mit der Hauptaxe der Hyperbel zusammenfallen, so müssen die zusammengehörigen Werthe von $\alpha$ und $\beta$ der Bedingung:

$$\sin 2\beta + \cos 2\beta \operatorname{cotg} 2\alpha = 0$$
$$\text{oder } 1 + \operatorname{tg} 2\alpha \operatorname{tg} 2\beta = 0 \qquad (2)$$

genügen. Eliminirt man mittelst dieser Relation den Winkel $\alpha$ aus der obigen transformirten Gleichung, so gewinnt die Gleichung der Hyperbel, auf ihre Axen bezogen, folgende einfache Gestalt:

$$x'^2 - y'^2 = p^2 \cos 2\beta \qquad (3)$$

wo jetzt $\beta$ den Winkel ausdrückt, welchen die reelle Axe mit der früheren Abscissenlinie $AOA'$ bildet. Die halbe





Länge $r$ dieser Axe bestimmt sich sodann aus der Gleichung:

$$r^2 = p^2 \cos 2\beta \qquad (4)$$

welche uns zugleich zeigt, dafs ihre Richtung stets zwischen $\beta = -45^\circ$ und $\beta = +45^\circ$ (oder zwischen $\beta = 180^\circ - 45^\circ$ und $\beta = 180^\circ + 45^\circ$) enthalten seyn mufs, weil alle übrigen Werthe von $\beta$ imaginäre Werthe von $r$ liefern würden.

Die Gleichung (2) sagt aus, dafs die Axenrichtung ($\beta$) der Hyperbel mit der gegebenen Oscillationsrichtung ($\alpha$) einen Winkel von 45° macht. Zieht man daher durch den Anfangspunkt $O$ die Gerade $PP'$ (Fig. 2 Taf. I) parallel zur gegebenen Oscillationsrichtung, und $QQ'$ senkrecht dazu (also parallel mit der zugehörigen zweiten Oscillationsrichtung), und halbirt sodann von den vier dadurch entstandenen rechten Winkeln diejenigen zwei Scheitelwinkel $POQ$ und $P'OQ'$, welche die Endpunkte $A$ und $A'$ der beiden optischen Axen zwischen ihre Schenkel fassen, so fällt die reelle Axe derjenigen Hyperbel, welcher jene zwei Schwingungsrichtungen entsprechen, in die Halbirungslinie $RR'$. Daraus geht noch ferner hervor, dafs die Geraden $PP'$ und $QQ'$ die Asymptoten der Hyperbel sind, *dafs also die Asymptoten einer jeden unserer Hyperbeln mit den ihr zugehörigen zwei Oscillationsrichtungen parallel laufen.*

Für die Gränzwerthe von $\beta + 45^\circ$ und $-45^\circ$, wird $r = 0$; die Hyperbel reducirt sich alsdann auf ihre Asymptoten, nämlich die beiden Coordinatenaxen $XX'$ und $YY'$; in allen Punkten der Coordinatenaxen erfolgen also die Oscillationen parallel mit diesen selbst.

Werden in Gleichung (4) $r$ und $\beta$ als Polarcoordinaten angesehen, so stellt dieselbe den geometrischen Ort der Scheitel sämmtlicher Hyperbeln dar. Diese krumme Linie wurde von Hrn. J. Müller [1]) die *Spitzencurve* genannt. Der blofse Anblick der Gleichung (4) lehrt, *dafs die Spitzencurve eine Lemniscate ist,* welche sich in Form einer 8 durch die Punkte $A, A'$ und $O$ hindurchschlingt.

Hat man daher die Spitzenlemniscate $ACOC'A'$ (Fig. 2

Taf. I) gezeichnet, so ist ihr Radius vector $OC$, welcher mit der oben erwähnten Halbirungslinie $RR'$ zusammenfällt, der Gröfse und Richtung nach die reelle Halbaxe und der Punkt $C$ der Scheitel der Hyperbel. Bestimmt man aus Gleichung (1) den Winkel $w$, welchen die Berührende an irgend einem Punkte $(x, y)$ einer unserer Hyperbeln mit der $x$-Axe einschliefst, so findet man:

$$\operatorname{tg} w = \frac{dy}{dx} = \frac{x \operatorname{tg} 2\alpha - y}{y \operatorname{tg} 2\alpha + x} \qquad (5)$$

Für $x = p$ und $y = 0$, d. h, für den Punkt $A$, wo alle Hyperbeln sich schneiden, ergiebt sich:

$$\operatorname{tg} w_0 = \operatorname{tg} 2\alpha$$

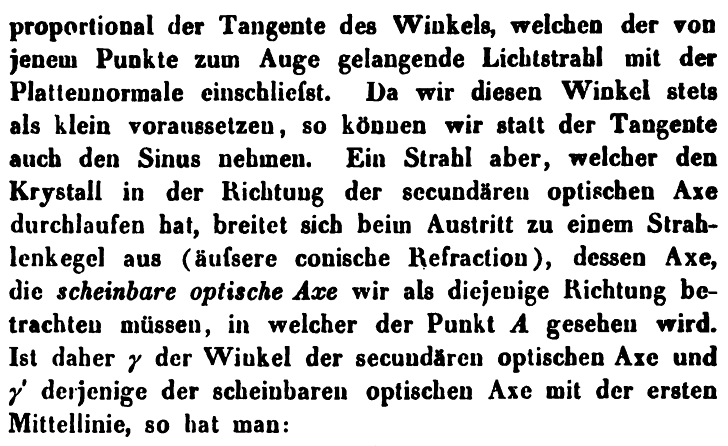
oder

$$w_0 = 2\alpha$$

*Der Winkel also, unter welchem eine jede Hyperbel im Punkte $A$ die Abscissenaxe $AOA'$ durchschneidet, wird durch ihre Asymptotenrichtung halbirt.* Berührt daher die Gerade $QS$ (Fig. 2 Taf. I) die Hyperbel $BB'$ in $A$, und zieht man $AT$ parallel der Asymptote $OP$, so mufs Winkel $TAX = TAS = \alpha$ seyn, demnach auch $SAO = 180^{\circ} - 2\alpha$, und da Winkel $AOS = \alpha$ ist, so mufs auch $ASO = \alpha$ seyn; das Dreieck $AOS$ ist also gleichschenklig, und zwar ist $AO = AS = p$.

Beschreibt man daher vom Punkte $A$ aus einen Kreis mit dem Halbmesser $p$, welcher eine beliebige Asymptotenrichtung $OP$ in $S$ schneidet, so berührt der Durchmesser $SAQ$ des Kreises die jener Asymptotenrichtung zugehörige Hyperbel $BAB'$ im Punkte $A$; wegen der Perpendicularität der Asymptoten geht selbstverständlich die andere Asymptote durch den Endpunkt $Q$ des Durchmessers $SAQ$. Zu allen unsern Hyperbeln können somit die Berührungslinien im gemeinschaftlichen Durchschnittspunkte $A$ mit Hülfe jenes einzigen Kreises construirt werden.

Es erübrigt jetzt nur noch die Gröfse $p$ aus den optischen Constanten des Krystalls zu bestimmen. Die Entfernung irgend eines Punktes der Krystalloberfläche vom Fufs[illegible] vom Auge auf sie gefällten Senkrechten ist



proportional der Tangente des Winkels, welchen der von jenem Punkte zum Auge gelangende Lichtstrahl mit der Plattennormale einschliefst. Da wir diesen Winkel stets als klein voraussetzen, so können wir statt der Tangente auch den Sinus nehmen. Ein Strahl aber, welcher den Krystall in der Richtung der secundären optischen Axe durchlaufen hat, breitet sich beim Austritt zu einem Strahlenkegel aus (äufsere conische Refraction), dessen Axe, die *scheinbare optische Axe* wir als diejenige Richtung betrachten müssen, in welcher der Punkt $A$ gesehen wird. Ist daher $\gamma$ der Winkel der secundären optischen Axe und $\gamma'$ derjenige der scheinbaren optischen Axe mit der ersten Mittellinie, so hat man:

$$\sin\gamma' = \frac{1}{b} \cdot \sin\gamma$$

da dem Strahl $oA$ die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit $b$ oder das mittlere Brechungsverhältnifs $\frac{1}{b}$ zukommt, während bekanntlich

$$\sin\gamma = \sqrt{\frac{\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2}}{\frac{1}{a^2} - \frac{1}{c^2}}}$$

ist, unter $a < b < c$ die drei optischen Hauptconstanten des Krystalls verstanden. Die Gröfse $p$ ist somit der Gröfse

$$\sin\gamma' = \frac{c}{b^2}\sqrt{\frac{b^2 - a^2}{c^2 - a^2}} \qquad (6)$$

proportional zu setzen.

§ 2. Der Gangunterschied.

Um den Gangunterschied der beiden bei $S$ (Fig. 1, Taf. I) in gleicher Richtung zum Auge austretenden Strahlen zu bestimmen, machen wir die bereits oben erwähnte Annahme, dafs beide auch den Krystall in einerlei Richtung durchlaufen, mit seiner Mittellinie den Winkel $w$ bildend. Bedeutet alsdann $d$ die Dicke der Platte, so haben beide Strahlen im Krystall den Weg $\frac{d}{\cos w}$ zurückzulegen.

Bezeichnen wir ferner die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des langsameren Strahls mit $v_1$, diejenige des schnelleren mit $v_2$ (die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in der Luft = 1 gesetzt), so ist $v_1\lambda$ die Wellenlänge des ersten, $v_2\lambda$ die Wellenlänge des zweiten Strahls, wenn durch $\lambda$ die Wellenlänge in der Luft ausgedrückt wird. Dann ist $\frac{d}{v_1\lambda\cos w}$ die Anzahl der Wellenlängen, welche auf dem Wege des ersten Strahles liegen, während der zweite Strahl längs desselben Weges nur $\frac{d}{v_2\lambda\cos w}$ Wellenlängen zählt. Die beiden Strahlen sind also in ihrem Gange um die Anzahl von

$$\vartheta = \frac{d}{\lambda\cos w}\left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}\right)$$

Wellenlängen verschieden. Aus dem Biot'schen Gesetz

$$\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2} = \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{c^2}\right)\sin u_1 \sin u_2$$

wo $u_1$ und $u_2$ die Winkel bezeichnen, welche der Strahl $oS$ mit den secundären optischen Axen $oA$ und $oA'$ bildet, ergiebt sich aber

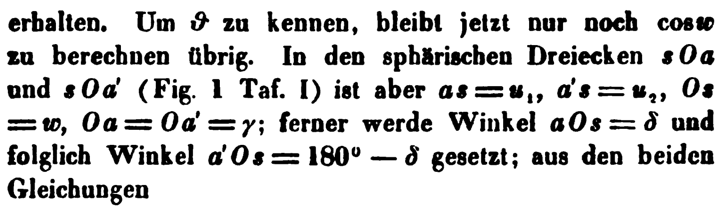
$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} = \frac{\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2}}{\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}} = \frac{\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{c^2}\right)\sin u_1 \sin u_2}{\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}}.$$

Da der Punkt $S$, unserer Annahme gemäfs, sehr nahe bei $O$ liegt, so werden die Geschwindigkeiten der beiden daselbst austretenden Strahlen nur wenig differiren von den Geschwindigkeiten der zwei in der Richtung der Mittellinie durch den Krystall gegangenen Strahlen; wir können demnach ohne bedeutenden Fehler

$$\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

setzen, so dafs wir

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} = \frac{\frac{1}{a^2} - \frac{1}{c^2}}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}}\sin u_1 \sin u_2$$





erhalten. Um $\vartheta$ zu kennen, bleibt jetzt nur noch $\cos w$ zu berechnen übrig. In den sphärischen Dreiecken $sOa$ und $sOa'$ (Fig. 1 Taf. I) ist aber $as = u_1$, $a's = u_2$, $Os = w$, $Oa = Oa' = \gamma$; ferner werde Winkel $aOs = \delta$ und folglich Winkel $a'Os = 180^0 - \delta$ gesetzt; aus den beiden Gleichungen

$$\cos u_1 = \cos\gamma\cos w + \sin\gamma\sin w\cos\delta$$
$$\text{und } \cos u_2 = \cos\gamma\cos w - \sin\gamma\sin w\cos\delta$$

folgt alsdann

$$\cos w = \frac{\cos u_1 + \cos u_2}{2\cos\gamma} = \tfrac{1}{2}(\cos u_1 + \cos u_2)\sqrt{\frac{\frac{1}{a^2} - \frac{1}{c^2}}{\frac{1}{b^2} - \frac{1}{c^2}}}\,.$$

so dafs

$$\vartheta = \frac{2d}{\lambda}\cdot\frac{\frac{1}{a^2} - \frac{1}{c^2}}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}}\cdot\sqrt{\frac{\frac{1}{b^2} - \frac{1}{c^2}}{\frac{1}{a^2} - \frac{1}{c^2}}}\cdot\frac{\sin u_1 \sin u^2}{\cos u_1 + \cos u_2}$$

gefunden wird. Weil jedoch die Winkel $u_1$ und $u_2$ sehr klein zu denken sind, so kann man ihre Cosinus $= 1$ und statt ihrer Sinus die Bogen setzen. Nach dieser Vereinfachung hat man:

$$\vartheta = \frac{d}{\lambda}\cdot\frac{\sqrt{(c^2 - a^2)(c^2 - b^2)}}{c^2(a + b)}\cdot u_1 u_2 \qquad (7)$$

wo jetzt $u_1$ und $u_2$ die Längen der Bogen $as$ und $a's$, oder, was wegen der Kleinheit dieser Bogen auf dasselbe hinauskommt, die Längen der geraden Linien $AS$ und $A'S$ ausdrücken, nach derselben Einheit gemessen wie $OA$ oder $p$ in § 1. Der Gangunterschied $\vartheta$ behält also den gleichen Werth in allen jenen Punkten, für welche das Product $u_1 u_2$ constant bleibt; *die Curven gleichen Gangunterschiedes sind demnach Lemniscaten*, welche sich um die beiden Punkte $A$ und $A'$ als ihre Pole herumschlingen. Will man die Lage des Punktes $S$ durch seine Polarcoordinaten $OS = \varrho$ und Winkel $AOS = \delta$ ausdrücken, so erhält man aus

$$u_1^2 = p^2 + \varrho^2 - 2p\varrho\cos\delta$$
$$\text{und } u_2^2 = p^2 + \varrho^2 + 2p\varrho\cos\delta$$

sogleich

$$u_1 u_2 = \sqrt{p^4 + \varrho^4 - 2p^2 \varrho^2 \cos 2\delta}$$

also die Gleichung des Lemniscatensystems in Polarcoordinaten:

$$\vartheta = \frac{dq}{\lambda} \sqrt{p^4 + \varrho^4 - 2p^2 \varrho^2 \cos 2\delta} \qquad (8)$$

wo nur der Kürze wegen

$$\frac{\sqrt{(c^2 - a^2)(c^2 - b^2)}}{c^2 (a + b)} = q$$

gesetzt wurde.

Die Gleichung des Lemniscatensystems in Orthogonalcoordinaten dagegen lautet:

$$[(p + x)^2 + y^2][(p - x)^2 + y^2] = \frac{\vartheta^2 \lambda^2}{d^2 q^2} \qquad (9).$$

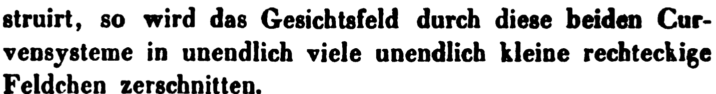
Daraus findet man die Tangente des Winkels, welchen die Berührungslinie in dem Punkte $(x,y)$ einer Lemniscate mit der Abscissenaxe einschliefst, wie folgt:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x}{y} \cdot \frac{p^2 - x^2 - y^2}{p^2 + x^2 + y^2} \qquad (10).$$

Durch denselben Punkt $(x,y)$ geht aber auch eine der in Gleichung (1) enthaltenen Hyperbeln, wenn daselbst zu den gegebenen Werthen von $x$ und $y$ $\alpha$ so bestimmt gedacht wird, dafs jene Gleichung erfüllt ist; substituirt man nun unter dieser Voraussetzung den Werth von $p^2$ aus Gleichung (1) in die vorstehende, so geht dieselbe über in:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{y \operatorname{tg} 2\alpha + x}{x \operatorname{tg} 2\alpha - y} \qquad (11).$$

Vergleicht man dieses Resultat mit Gleichung (5) in §. 1., so erkennt man, dafs jede Hyperbel der Gleichung (1) jede Lemniscate der Gleichung (9) rechtwinklig durchschneidet, d. h. *die Curven gleicher Oscillationsrichtung sind die rechtwinkligen Trajectorien zu den Curven gleichen Gangunterschiedes,* und umgekehrt. Denkt man sich daher alle zu den stetig aufeinander folgenden Werthen von $\vartheta$ gehörigen Lemniscaten, und auch alle zu den stetig aufeinanderfolgenden Werthen von $\alpha$ gehörigen Hyperbeln con-





struirt, so wird das Gesichtsfeld durch diese beiden Curvensysteme in unendlich viele unendlich kleine rechteckige Feldchen zerschnitten.

Um diejenigen Punkte irgend einer Lemniscate zu finden, welche am weitesten oder am wenigsten weit von der Abscissenaxe entfernt sind, d. h. also die Maxima oder Minima der Ordinate $y$, mufs man $\frac{dy}{dx}$ (Gleichung 10) gleich Null setzen ($\frac{dy}{dx} = \frac{1}{0}$ gesetzt, liefert weder Maxima noch Minima); man erhält dadurch entweder

$$x^2 + y^2 = p^2 \qquad (12)$$

oder

$$x = 0 \qquad (13).$$

Die erstere Gleichung, welche blofs Maxima giebt, sagt aus, dafs dieselben auf einem Kreise liegen, welcher von $O$ aus mit dem Radius $p$ beschrieben wurde (vergl. Fig. 5 Taf. I), oder mit andern Worten, *dieser Kreis ist*, für alle Lemniscaten, welche er durchschneidet, *der geometrische Ort ihrer Ordinatenmaxima.*

In einem jeden Maximum ist die Berührungslinie, oder das ihr angehörende Element der Curve, mit der Abscissenaxe parallel. Da nun die Lemniscaten von den Hyperbeln senkrecht durchschnitten werden, so müssen die Tangenten der Hyperbeln da, wo diese durch die Maximalpunkte der Lemniscaten hindurchgehen, oder, was dasselbe ist, wo sie dem eben genannten Kreise begegnen, mit der Ordinatenaxe parallel seyn: eine jede Hyperbel kommt daher der Ordinatenaxe am nächsten da, wo sie jenen Kreis durchschneidet, so dafs *der nämliche Kreis auch der geometrische Ort aller jener Hyperbelpunkte ist, deren Abscissen Minima sind.* Da jeder dieser Punkte (z. B. $D$ Fig. 2 Taf. I) vom Mittelpunkte $O$ eben so weit entfernt ist wie der Punkt $A$, so mufs er zu diesem symmetrisch liegen in Bezug auf die Hyperbelaxe $OC$, und seine Tangente $DE$ mufs diese Axe im nämlichen Punkte $E$ treffen, wie die Tangente $AS$. Man findet daher den Punkt $D$ als Durchschnittspunkt des Kreises

*AD* mit einer Geraden, welche durch *E* parallel zur Ordinatenaxe gezogen wird.

Diejenigen Lemniscaten, deren Maxima auf dem Kreise (12) liegen, haben ihre Minima in der Ordinatenaxe, für $x = 0$; für alle übrigen Lemniscaten liefert $x = 0$ nur Maxima.

Für die Maxima und Minima mufs natürlich auch der in (11) enthaltene Werth von $\frac{dy}{dx}$, weil er ja identisch ist mit demjenigen der Gleichung (10), verschwinden, d. h. es mufs

$$y \operatorname{tg} 2\alpha + x = 0$$

oder

$$y = -\frac{1}{\operatorname{tg} 2\alpha} \cdot x \qquad (14)$$

seyn. Diese Gleichung stellt aber eine Gerade vor, welche durch den Anfangspunkt geht und senkrecht steht auf einer andern, die mit der Abscissenlinie den Winkel $2\alpha$ bildet. Denkt man sich nun durch das Maximum irgend einer Lemniscate, also durch den Punkt *D*, wo sie vom obigen Kreis geschnitten wird, auch eine unserer Hyperbeln gezogen, so bildet ihre Tangente im Punkte *A* mit der Abscissenaxe den Winkel $2\alpha$; fällt man auf diese Tangente von *O* aus eine Senkrechte, so trifft diese den Kreis gerade im Maximum *D* der Lemniscate; diesen Punkt *D*, welcher zugleich dem Abscissenminimum der Hyperbel entspricht, kann man daher für eine Hyperbel von gegebener Asymptotenrichtung $\alpha$ auch finden, wenn man auf die nach §. (1) construirte Tangenten *AS* vom Anfangspunkt die Senkrechte *OD* zieht und dieselbe $= p$ macht.

Da die gerade Linie, welche den Kreis in *D* berührt, senkrecht steht zum Radius *OD*, so läuft sie folglich parallel mit der Geraden *AS*, welche die durch den nämlichen Punkt *D* gehende Hyperbel in *A* berührt. *Eine jede Lemniscate wird daher von unserem Kreise unter demselben Winkel geschnitten, unter welchem die zugehörige Hyperbel die Abscissenaxe schneidet.*





§. 3. Die Intensität.

Es sey, wie vorher, $\alpha$ (Fig. 3 Taf. I) der Winkel, welchen die eine der beiden in dem beliebigen Punkte $S$ stattfindenden Schwingungsrichtungen mit der Abscissenaxe $OX$ einschliefst, während die andere zu jener senkrecht steht; sey ferner $\varphi$ der Winkel, den die Oscillationsrichtung der ersten Turmalinplatte mit der Abscissenaxe bildet, so wird ein durch dieselbe durchgegangener und demnach mit der Schwingungsrichtung $\varphi$ an der Krystallplatte anlangender Strahl, dessen Vibrationsintensität gleich $A$ sey, in zwei Strahlen zerlegt, von denen der eine nach $\alpha$, der andere senkrecht dazu schwingt. Wenn wir von der ungleichen Schwächung, welche die beiden Strahlen beim Durchgang durch die Krystallplatte erleiden, und von der Absorption der Turmaline ganz absehen, so gelangen dieselben zum zweiten Turmalin mit den Vibrationsintensitäten:

$$A\cos(\varphi-\alpha)$$
$$\text{und } A\sin(\varphi-\alpha)$$

Bezeichnen wir ferner mit $2\pi g$ die Phase des einen und mit $\pm 2\pi\vartheta$ den Phasenunterschied der beiden Strahlen, so sind in einem beliebigen Augenblick ihre Schwingungsgeschwindigkeiten:

$$A\cos(\varphi-\alpha)\sin 2\pi g$$
$$\text{und } A\sin(\varphi-\alpha)\sin 2\pi(g\pm\vartheta).$$

Ist nun $\psi$ der Winkel der Oscillationsrichtung des zweiten Turmalins mit der Abscissenaxe, so besitzen die beiden Strahlen, auf diese Richtung reducirt, nach ihrem Durchgange durch den Turmalin die Schwingungsgeschwindigkeiten:

$$A\cos(\varphi-\alpha)\cos(\psi-\alpha)\sin 2\pi g$$
$$\text{und } A\sin(\varphi-\alpha)\sin(\psi-\alpha)\sin 2\pi(g\pm\vartheta)$$

Da die zwei Strahlen jetzt in der gleichen Ebene schwingen, so können sie interferiren; die Oscillationsgeschwindigkeit des resultirenden Strahls wird erhalten, wenn man diejenigen der Componenten addirt, sie ist also gleich

$$A[\cos(\varphi-\alpha)\cos(\psi-\alpha)\sin 2\pi g$$
$$+\sin(\varphi-\alpha)\sin(\psi-\alpha)\sin 2\pi(g\pm\vartheta)],$$

oder wenn man $\sin 2\pi(g \pm \vartheta)$ entwickelt:

$$A[\cos(\varphi-\alpha)\cos(\psi-\alpha) + \sin(\varphi-\alpha)\sin(\psi-\alpha)\cos 2\pi\vartheta]\sin 2\pi g \pm A\sin(\varphi-\alpha)\sin(\psi-\alpha)\sin 2\pi\vartheta\cos 2\pi g.$$

Setzt man nun

$$A[\cos(\varphi-\alpha)\cos(\psi-\alpha) + \sin(\varphi-\alpha)\sin(\psi-\alpha)\cos 2\pi\vartheta] = J\cos 2\pi\eta$$

und

$$A\sin(\varphi-\alpha)\sin(\psi-\alpha)\sin 2\pi\vartheta = J\sin 2\pi\eta$$

so findet man die Lichtstärke $J^2$ des resultirenden Strahls, wenn man die Quadrate der beiden letzteren Gleichungen addirt; nach einigen naheliegenden Reductionen ergiebt sich:

$$J^2 = A^2[\cos^2(\varphi-\psi) - \sin 2(\varphi-\alpha)\sin 2(\psi-\alpha)\sin^2\pi\vartheta] \quad (15).$$

Das erste Glied in der Klammer hängt blofs ab von der Stellung der Turmaline *gegen einander* und liefert gleichsam den Grundton des ganzen Gemäldes, welcher bei Abwesenheit der Krystallplatte und alleinigem Vorhandenseyn der Turmalinplatten überall gleichmäfsig verbreitet wäre; im zweiten aus drei Factoren bestehenden Gliede geben die beiden ersten zusammengehörigen den Einflufs an, welchen die jeweilige Stellung der beiden Turmaline *gegen die Krystallplatte* auf die Erscheinung ausübt; der dritte Factor endlich giebt Rechenschaft über die Modificationen, welche durch Gangunterschied und Wellenlänge hervorgebracht werden.

Denkt man sich in der Formel (15) $J^2$ constant, so ist sie die Gleichung der *Curven gleicher Intensität.* Es wäre leicht aus dem Vorhergehenden $\alpha$ und $\vartheta$ in Orthogonal- oder Polarcoordinaten auszudrücken, und so die Gleichung der Intensitätscurven in einem dieser beiden gebräuchlichsten Coordinatensysteme zu erhalten. Da aber einem jeden Werthe von $\alpha$ eine der oben besprochenen Hyperbeln, einem jeden Werthe von $\vartheta$ aber eine bestimmte Lemniscate entspricht, so können wir einen jeden Punkt des Bildes als den Durchschnittspunkt einer solchen Hyperbel mit einer Lemniscate ansehen, und haben sonach in (15)





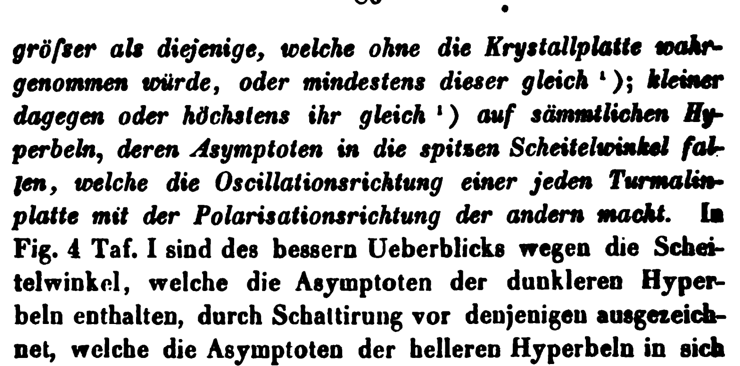
die Gleichung der Intensitätscurven in einem eigenthümlichen Coordinatensystem.

Wir haben oben unter $\varphi$ den Winkel verstanden, welchen die Oscillationsrichtung des *ersten* Turmalins mit der Abscissenaxe bildet, unter $\psi$ dagegen den entsprechenden Winkel der *zweiten* Turmalinplatte. Die bloſse Ansicht der Formel (15) lehrt aber, daſs man, ohne die Erscheinung im mindesten zu ändern, $\varphi$ und $\psi$ mit einander vertauschen kann, daſs es somit gleichgiltig ist, auf welche von den beiden Turmalinplatten wir $\varphi$ und $\psi$ beziehen. Sowohl $\varphi$ als $\psi$ mögen von der positiven $x$-Axe aus gegen die positive $Y$-Axe hin von 0° bis 360° gezählt werden; denken wir uns nun durch den Anfangspunkt $O$ (Fig. 4 Taf. I) die Oscillationsrichtung $\varphi\varphi'$ und $\psi\psi'$ der beiden Turmaline gezogen, so könnten wir zur näheren Bestimmung der Richtungen $\varphi$ und $\psi$ unter den vier Combinationen $O\varphi$ und $O\psi$, $O\varphi$ und $O\psi'$, $O\varphi'$ und $O\psi$, $O\varphi'$ und $O\psi'$ eine beliebige auswählen; wir wollen immer diejenige nehmen, welche $\varphi$ (in Fig. 4 Taf I Winkel $XO\varphi$) gröſser als $\psi$ (Winkel $XO\psi$) und zugleich $\varphi - \psi$ (oder Winkel $\varphi O \psi$) kleiner als 90° ergiebt. Dabei kann $\alpha$ beliebig weit, positiv in der nämlichen Richtung wie $\varphi$ und $\psi$, negativ in der entgegengesetzten Richtung herumgezählt werden.

Die Intensität wird nun gleich $A^2 \cos^2(\varphi - \psi)$, d. h. gleich derjenigen, welche die Turmaline ohne Dazwischenkunft der Krystallplatte zeigen würden, in allen jenen Punkten für welche $\sin 2(\varphi - \alpha) \sin 2(\psi - \alpha) \sin^2 \pi\vartheta = 0$ ist; dieses geschieht erstens, wenn $\sin^2 \pi\vartheta = 0$, oder wenn $\vartheta$ (Null oder) eine ganze Zahl ist; *die Lemniscaten aa, bb, cc... (Fig. 5 Taf. I) also deren Lichtstrahlen um eine ganze Anzahl von Wellenlängen differiren, zeigen in allen ihren Punkten die gleiche Lichtstärke $A^2 \cos^2(\varphi - \psi)$*. Dieses Lemniscatensystem wollen wir die *Hauptlemniscaten* nennen. — Das obige Product wird ferner Null, sobald entweder $\sin 2(\varphi - \alpha)$, oder $\sin 2(\psi - \alpha)$ verschwindet, d. h. entweder für $\alpha = \varphi$, oder für $\alpha = \psi$; *die nämliche*

*Lichtstärke $A^2 \cos^2 (\varphi - \psi)$ findet demnach auch statt auf den Hyperbeln BB' und CC'* (Fig. 5 Taf. I), *deren Asymptoten parallel (und senkrecht) sind zu den Schwingungsrichtungen der beiden Turmaline.* Wir wollen diese beiden Hyperbeln, deren Asymptoten in Fig. 4 Taf. I für die erste mit $\varphi\varphi'$ und $\pi\pi'$, für die zweite mit $\psi\psi'$ und $\varrho\varrho'$ bezeichnet sind, die *Haupthyperbeln* nennen. Die Werthe $\alpha = \varphi \pm 90^\circ$, $\alpha = \psi \pm 90^\circ$, $\alpha = \varphi \pm 180^\circ$, $\alpha = \psi \pm 180^\circ$ etc., welche aufser den oben genannten $\sin 2(\varphi - \alpha)$ und $\sin 2(\psi - \alpha)$ zum Verschwinden bringen, würden augenscheinlich zu den nämlichen zwei Hyperbeln führen, und können somit unberücksichtigt bleiben.

Das Product $\sin 2(\varphi - \alpha) \sin 2(\psi - \alpha)$ bleibt negativ, so lange $\alpha$ zwischen $\varphi$ und $\psi$ liegt; denn alsdann ist $\varphi - \alpha$ positiv, $\psi - \alpha$ aber negativ, während die absoluten Werthe beider Differenzen, wegen $\varphi - \psi < 90^\circ$, um so mehr unter $90^\circ$ bleiben. Auf allen Hyperbeln also, deren Asymptoten in den Winkel $\varphi O \psi$ (Fig. 4, Taf. I) fallen, ist die Intensität gröfser als $A^2 \cos^2 (\varphi - \psi)$ oder mindestens diesem Werthe gleich; dasselbe findet statt, wenn $\alpha$ zwischen $\psi + 90^\circ$ und $\varphi + 90^\circ$, d. h. in den Winkel $\varrho O \pi$ ($\pi\pi'$ sey senkrecht zu $\varphi\varphi'$, $\varrho\varrho'$ senkrecht zu $\psi\psi'$ errichtet) fällt oder zwischen $\psi - 90^\circ$ und $\varphi - 90^\circ$ (Winkel $\varrho' O \pi'$), oder zwischen $\psi + 180^\circ$ und $\varphi + 180^\circ$ (Winkel $\varphi' O \psi'$). Das obige Product wird dagegen positiv, wenn $\alpha$ zwischen $\varphi - 90^\circ$ und $\psi$, oder zwischen $\varphi$ und $\psi + 90^\circ$, oder zwischen $\varphi + 90^\circ$ und $\psi + 180^\circ$, oder zwischen $\varphi + 180^\circ$ und $\psi + 270^\circ$ fällt; die Intensität ist daher kleiner als $A^2 \cos^2 (\varphi - \psi)$ oder höchstens gleich diesem Werthe auf allen Hyperbeln, deren Asymptoten in die Winkel $\pi' O \psi$, $\varphi O \varrho$, $\pi O \psi'$ und $\varphi' O \varrho'$ hineinfallen. Da die Oscillationen wie gewöhnlich angenommen wird, senkrecht zur Polarisationsebene erfolgen, so können wir diese Resultate folgendermafsen ausdrücken: *Auf allen Hyperbeln, deren Asymptoten in die spitzen Scheitelwinkel der Oscillationsrichtungen und in die spitzen Scheitelwinkel der Polarisationsrichtungen der beiden Turmaline hineinfallen, ist die* Lichtstärke





*gröfser als diejenige, welche ohne die Krystallplatte wahrgenommen würde, oder mindestens dieser gleich* [1]); *kleiner dagegen oder höchstens ihr gleich* [1]) *auf sämmtlichen Hyperbeln, deren Asymptoten in die spitzen Scheitelwinkel fallen, welche die Oscillationsrichtung einer jeden Turmalinplatte mit der Polarisationsrichtung der andern macht.* In Fig. 4 Taf. I sind des bessern Ueberblicks wegen die Scheitelwinkel, welche die Asymptoten der dunkleren Hyperbeln enthalten, durch Schattirung vor denjenigen ausgezeichnet, welche die Asymptoten der helleren Hyperbeln in sich fassen.

Die Hyperbeln aber, welche der erstgenannten Reihe von Asymptoten zugehören, liegen in den Scheitelräumen $BAC$ und $B'AC'$ (Fig. 5 Taf. I) während der zweiten Reihe von Asymptoten die Hyperbeln entsprechen, deren Zweige in die Scheiteiräume $BAC'$ und $B'AC$ hineinfallen. *Die gröfsere Intensität herrscht demnach zwischen den beiden Haupthyperbeln, die kleinere aufserhalb derselben.* Unter dem Raume »zwischen« den beiden Haupthyperbeln verstehen wir dabei stets denjenigen, welchen die $\psi$-Hyperpel ($\psi < \varphi$) beschreiben würde, wenn man sie, in der Richtung von der positiven $x$-Axe gegen die positive $y$-Axe drehend, allmählich in die $\varphi$-Hyperbel übergehen liefse.

Da nach §. 1. im Punkte $A$ die eine Haupthyperbel (d. h. ihre Tangente in diesem Punkte) mit der Abscissenaxe den Winkel $2\psi$, die andere dagegen den Winkel $2\varphi$ bildet, so folgt, *dafs die beiden Haupthyperbeln in ihrem Durchkreuzungspunkte A einen Winkel mit einander machen, welcher doppelt so grofs ist, als der spitze Winkel zwischen den Oscillationsrichtungen der beiden Turmaline*, nämlich gleich $2(\varphi - \psi)$.

Ist daher der Winkel $\varphi - \psi$ der Turmaline gleich Null, so ist es auch derjenige der beiden Haupthyperbeln, und beide verschmelzen in eine einzige; der hellere Raum zieht sich demnach jetzt auf diese einzige Haupthyperbel zusammen, auf welcher, so wie auf den Hauptlemniscaten, die

1) *Das Letztere* nämlich nur auf den Haupthyperbeln $BB'$ und $CC'$ und *auf den Hauptlemniscaten* $aa$, $bb$, $cc$ ... (Fig. 5 Taf. I).

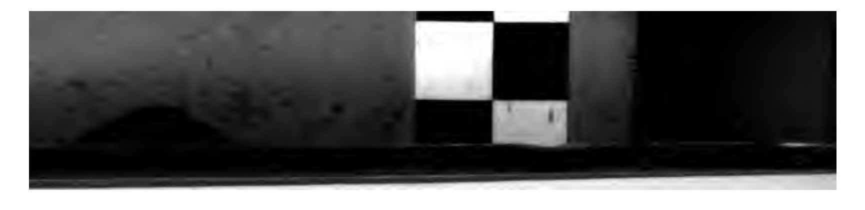
größtmögliche Helligkeit $A^2$ herrscht. In allen übrigen Punkten des Bildes ist die Intensität geringer als jene, d. h. der dunklere Raum nimmt in diesem Falle die gesammte Bildfläche ein.

Der hellere Raum gewinnt an Breite, wenn der Winkel der Turmaline zunimmt; bilden die Schwingungsrichtungen der Turmaline einen Winkel von 45° mit einander so stehen die Haupthyperbeln im Punkte $A$ auf einander senkrecht, und die Intensität auf ihnen sowie auf den Hauptlemniscaten beträgt $\frac{1}{2}A^2$.

Der hellere Raum wächst fortwährend an Breite, bis $\varphi - \psi = 90°$, als $2(\varphi - \psi) = 180°$ wird. Auch jetzt fallen, wie Anfangs, die beiden Haupthyperbeln in eine einzige zusammen, ihre entsprechenden Schenkel aber bilden einen geraden Winkel mit einander, d. h. sie laufen von $A$ aus nach entgegengesetzten Richtungen. Der dunkle Raum zieht sich dadurch auf die nun einzige Haupthyperbel zusammen, welche nebst den Hauptlemniscaten die kleinstmögliche Intensität Null aufweist. In allen übrigen Punkten des Bildes ist die Lichtstärke größer als Null, d. h. der hellere Raum ist jetzt über die ganze Bildfläche ausgebreitet.

Wenn also der Winkel der Turmaline von 0° bis 45° wächst, so nimmt die Beleuchtung der Haupthyperbeln und Hauptlemniscaten von $A^2$ bis $\frac{1}{2}A^2$ ab; sie nimmt weiter von $\frac{1}{2}A^2$ bis 0 ab, wenn der Winkel der Turmaline von 45° bis 90° zunimmt. Dabei behalten die Hauptlemniscaten ihre Gestalt und Lage unverändert bei, während die Haupthyperbeln, Anfangs zusammenfallend, immer weiter auseinandertreten, bei $\varphi - \psi = 45°$ auf einander senkrecht stehen und endlich bei $\varphi - \psi = 90°$ nach entgegengesetzter Richtung über einander zu liegen kommen.

Denkt man sich in jedem Punkte des Bildes die Lichtstärke als Ordinate senkrecht errichtet, so geben die Gipfelpunkte der Ordinaten eine krumme Oberfläche, ein »Lichtgebirge«. Die Hauptlemniscaten $aa$, $bb$, $cc$... (Fig. 5 Taf. I) und die Haupthyperbeln $BB'$, $CC'$ stellen dann gleich-





sam ein horizontal verlaufendes Strafsennetz vor, welches das ganze Terrain in Felder wie *mnpq* und *pqrs* zerschneidet (es werde dabei $\varphi - \psi > 0^\circ$, aber $< 90^\circ$ angenommen, also nicht $= 0^\circ$ und nicht $= 90^\circ$). Ueber jedem Felde wie *mnpq*, welches in einen der helleren Scheitelräume *BAC* und *B'AC'* fällt, erhebt sich ein Lichtberg über das Niveau des Strafsennetzes; jedes Feld dagegen, welches wie *pqrs* in einem der dunkleren Scheitelräume *BAC'* und *B'AC* liegt, umschliefst ein muldenförmiges Thal, welches sich unter das Niveau der Strafsen hinabsenkt.

Sind die Turmaline parallel gestellt ($\varphi - \psi = 0$), so bilden die Hauptlemniscaten sammt der nun einzigen Haupthyperbel das Strafsennetz; Berge sind jetzt keine mehr vorhanden, sondern in jedes Feld senkt sich ein Thal hinab.

Sind die Turmaline rechtwinklig gekreuzt, so besteht das Strafsennetz ebenfalls nur aus den Hauptlemniscaten und einer einzigen Haupthyperbel; über jedem Felde steigt ein Lichtberg empor, während Thäler gar nicht vorhanden sind. —

Maxima der Lichtstärke treten ein in allen jenen Punkten, für welche das Product $\sin 2(\varphi - \alpha) \sin 2(\psi - \alpha) \sin^2 \pi\vartheta$ seinen gröfsten negativen Werth erreicht; dieses wird offenbar dann stattfinden, wenn gleichzeitig der immer positive Factor $\sin^2 \pi\vartheta$ seinen gröfsten Werth 1 und das Product $\sin 2(\varphi - \alpha) \sin 2(\psi - \alpha)$ seinen gröfsten negativen Werth annimmt. Nun ist aber $\sin^2 \pi\vartheta$ ein Maximum, so oft $\vartheta$ ein ungerades Vielfaches von $\frac{1}{2}$ wird; die Maxima der Lichtstärke liegen daher auf jenen Lemniscaten, welche einem Gangunterschied von einer ungeraden Anzahl halber Wellenlängen entsprechen. Das Product $\sin 2(\varphi - \alpha) \sin 2(\psi - \alpha)$ dagegen erreicht seinen gröfsten negativen Werth, wenn seine beiden Factoren gleich, aber von entgegengesetztem Vorzeichen sind, also wenn

$$\sin 2(\varphi - \alpha) = -\sin 2(\psi - \alpha)$$

ist; dieser Gleichung wird zunächst genügt durch

$$2(\varphi - \alpha) = -2(\psi - \alpha)$$

woraus sich





$$\alpha = \tfrac{1}{2}(\varphi + \psi)$$

ergiebt: die Maxima liegen daher auch auf jener Hyperbel deren eine Asymptote $\sigma\sigma'$ (Fig. 4 Taf. I) den spitzen Winkel der Oscillationsrichtungen der Turmaline, und deren andere $\tau\tau'$ demnach den spitzen Winkel ihrer Polarisationsrichtungen halbirt. Die übrigen Werthe von $\alpha$, welche noch aufserdem der obigen Gleichung genügen, würden sämmtlich zu der nämlichen Hyperbel führen, welche wir die *Maximum-Hyperbel* nennen wollen. Aus dem, was oben über die Tangentenrichtung im Punkte $A$ gelehrt worden ist, ergiebt sich leicht, *dafs die Maximum-Hyperbel im Pole A den Winkel der beiden Haupthyperbeln halbirt.*

Minima der Lichtstärke treten ein, wenn wiederum $\sin^2 \pi\vartheta = 1$ ist, dagegen $\sin 2(\varphi - \alpha) \sin 2(\psi - \alpha)$ seinen gröfsten positiven Werth hat. Dazu ist aber nöthig, dafs

$$\sin 2(\varphi - \alpha) = \sin 2(\psi - \alpha)$$

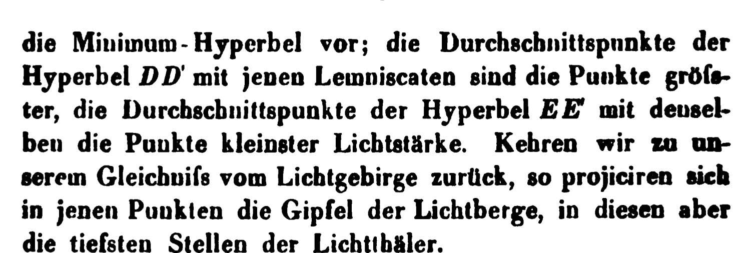
werde; diefs wird erreicht, wenn

$$2(\varphi - \alpha) = 180^\circ - 2(\psi - \alpha)$$

d. h.
$$\alpha = \tfrac{1}{2}(\varphi + \psi) - 45^\circ$$

genommen wird. Die Intensitätsminima liegen demnach zwar auf den nämlichen schon oben gefundenen Lemniscaten (welche wir deswegen *Maximum- und Minimum-Lemniscaten* nennen), aber da, wo sie von einer Hyperbel getroffen werden, deren eine Asymptote $\chi\chi'$ (Fig. 4 Taf. I) den spitzen Winkel $\varrho O\varphi$ zwischen der Oscillationsrichtung des einen und der Polarisationsrichtung des andern der beiden Turmaline halbirt, so dafs ihre andere Asymptote $\omega\omega'$ den entsprechenden Winkel $\psi O\pi'$ halbiren mufs. Aufser dieser *Minimum-Hyperbel* giebt es, wie man sich leicht überzeugen kann, keine andere. Die Minimumhyperbel halbirt im Punkte $A$ den Nebenwinkel desjenigen, welchen daselbst die beiden Haupthyperbeln einschliefsen. Da die Asymptoten der Maximum- und der Minimumhyperbel einen Winkel von 45° mit einander bilden, *so müssen diese beiden Hyperbeln im Pole A stets zu einander senkrecht stehen.*

Die Maximum- und Minimumlemniscaten sind in Fig. 5 Taf. I punktirt angegeben. $DD'$ stellt die Maximum-, $EE'$





die Minimum-Hyperbel vor; die Durchschnittspunkte der Hyperbel $DD'$ mit jenen Lemniscaten sind die Punkte gröfster, die Durchschnittspunkte der Hyperbel $EE'$ mit denselben die Punkte kleinster Lichtstärke. Kehren wir zu unserem Gleichnifs vom Lichtgebirge zurück, so projiciren sich in jenen Punkten die Gipfel der Lichtberge, in diesen aber die tiefsten Stellen der Lichtthäler.

Setzt man $\alpha = \frac{1}{2}(\varphi + \psi)$ und $\sin^2 \pi\vartheta = 1$ in den Ausdruck $\sin 2(\varphi - \alpha) \sin 1(\psi - \alpha) \sin^2 \pi\vartheta$ ein, so wird derselbe $= -\sin^2(\varphi - \psi)$, und man findet die Intensitätsmaxima $= A^2$, d. h. gleich der vollen Lichtstärke, welche die parallelen Turmaline für sich durchlassen würden. Für $\sin^2 \pi\vartheta = 1$ und $\alpha = \frac{1}{2}(\varphi + \psi) - 45^\circ$ aber wird jener Ausdruck $= + \cos^2(\varphi \quad \psi)$, und die Intensitätsminima ergeben sich gleich Null. Längs der Maximum-Hyperbel zeigt daher das Bild eine Reihe möglichst hell glänzender, längs der Minimum-Hyperbel dagegen eine Reihe vollkommen schwarzer Punkte. —

Bisher haben wir als Curven gleicher Intensität nur das System der Hauptlemniscaten sammt den beiden Haupthyperbeln kennen gelernt, für welche der Ausdruck $\sin 2(\varphi - \alpha)$ $\sin 2(\psi - \alpha) \sin^2 \pi\vartheta$ Null ist. Aufserdem haben aber noch alle jene Punkte unter sich die gleiche Lichtstärke, für welche dieser Ausdruck den nämlichen positiven oder negativen Werth erlangt. So lange derselbe negativ, aber $> - \sin^2(\varphi - \psi)$ bleibt, liefert er uns die zwischen den beiden Haupthyperbeln eingeschlossenen helleren Curven; die Intensitätscurven des dunkleren Raumes gehen aus ihm hervor, wenn derselbe positiv aber kleiner als $\cos^2(\varphi - \psi)$ ist.

Nehmen wir zunächst an, es sey

$$\sin 2(\varphi - \alpha) \sin(\psi - \alpha) \sin^2 \pi\vartheta = -K^2 \qquad (16)$$

wo unter $-K^2$ ein Werth verstanden wird, welcher der ersteren Bedingung genügt (es sey nämlich $K^2 > 0$, aber $< \sin^2(\varphi - \psi)$], so ist diese Gleichung diejenige der *helleren* Intensitätscurven. Setzt man für $\alpha$ einen bestimmten Werth $\psi + \alpha'$ (wo $\alpha' > 0$, aber $< \varphi - \psi$ ist), welcher $\sin 2(\varphi - \alpha)$ $\sin 2(\psi - \alpha)$ negativ und $< -K^2$ macht, so entspricht die-

sem eine unserer Hyperbeln; gesetzt, es sey alsdann $\vartheta'$ ein Werth von $\vartheta$, welcher für $\alpha = \psi + \alpha'$ die Gleichung (16) erfüllt, so wird dieselbe nothwendig auch für $\vartheta = m + \vartheta'$ und für $\vartheta = n - \vartheta'$ identisch, unter $m$ und $n$ beliebige positive ganze Zahlen verstanden. Es lassen sich daher (weil statt $n$ auch $n+1$ gesetzt werden kann) in jedem Felde $mnpq$ (Fig. 5 Taf. I) im Allgemeinen zwei Lemniscaten angeben, deren Durchschnittspunkte mit einer gegebenen Hyperbel die Intensität

$$J'^2 = A^2[\cos^2(\varphi - \psi) + k^2]$$

aufweisen. Diese beiden Lemniscaten differiren hinsichtlich ihres Gangunterschieds um gleichviel von den beiden Hauptlemniscaten ($\vartheta = m$ und $\vartheta = m + 1$), welche das Feld begränzen. Den nämlichen Werth $-\sin 2(\varphi - \psi - \alpha')\sin 2\alpha'$, welchen $\sin 2(\varphi - \alpha)\sin 2(\psi - \alpha)$ für $\alpha = \psi + \alpha'$ annimmt, erlangt dieser Ausdruck auch für $\alpha = \varphi - \alpha'$; es giebt daher aufser der zuerst angenommenen Hyperbel noch eine, welche mit den nämlichen beiden Lemniscaten Durchschnittspunkte von der Intensität $J'^2$ liefert; die Schwingungsrichtungen dieser zwei Hyperbeln weichen von denjenigen der Haupthyperbeln um gleichviel ab, diese Abweichungen bei beiden im Sinne der Annäherung an die Oscillationsrichtung der Maximumhyperbel verstanden. Nur für diejenigen beiden Hyperbeln, welche bereits

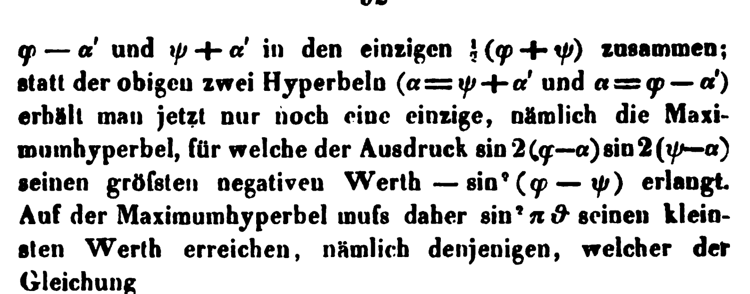
$$\sin 2(\varphi - \alpha)\sin 2(\psi - \alpha) = -K^2 \qquad (17)$$

machen, erhält man in jedem Felde nur eine Lemniscate, nämlich die dasselbe durchsetzende Maximum- und Minimum-Lemniscate, weil für diese $\sin^2\pi\vartheta =$ ist Wäre aber

$$\sin 2(\varphi - \alpha)\sin 2(\psi - \alpha) > -K^2$$

so kann durch keinen Werth von $\vartheta$ mehr der Gleichung (16) genügt werden. Wir ersehen daraus, dafs alle Curven von der Intensität $J'^2$ zwischen den beiden Hyperbeln, welche der Gleichung (17) genügen, eingeschlossen sind, und von ihnen in den Punkten berührt werden, wo sie den Maximum- und Minimum-Lemniscaten begegnen. (Siehe Fig. 5 Taf. I $FF$ und $GG$).

Setzt man $\alpha' = \frac{1}{2}(\varphi - \psi)$, so fallen die beiden Werthe





$\varphi - \alpha'$ und $\psi + \alpha'$ in den einzigen $\frac{1}{2}(\varphi + \psi)$ zusammen; statt der obigen zwei Hyperbeln ($\alpha = \psi + \alpha'$ und $\alpha = \varphi - \alpha'$) erhält man jetzt nur noch eine einzige, nämlich die Maximumhyperbel, für welche der Ausdruck $\sin 2(\varphi - \alpha) \sin 2(\psi - \alpha)$ seinen gröfsten negativen Werth $-\sin^2(\varphi - \psi)$ erlangt. Auf der Maximumhyperbel mufs daher $\sin^2 \pi \vartheta$ seinen kleinsten Werth erreichen, nämlich denjenigen, welcher der Gleichung

$$\sin^2(\varphi - \psi) \sin^2 \pi \vartheta = K^2 \qquad (18)$$

genügt. Für Werthe von $\vartheta$, welche $\sin^2 \pi \vartheta$ noch kleiner machen, giebt es alsdann keine Punkte mehr von der verlangten Intensität $J'^2$, und man sieht, dafs innerhalb eines Feldes zwei von den begränzenden Hauptlemniscaten um den gleichen Gangunterschied abweichende Lemniscaten je eine Curve gleicher Intensität zwischen sich schliefsen, und dieselbe in den beiden Punkten berühren, wo sie mit der Maximumhyperbel zusammentreffen.

Es ist klar, dafs für die *dunkleren* Intensitätscurven, welche den positiven Werthen von $\sin 2(\varphi - \alpha) \sin 2(\psi - \alpha)$ entsprechen, die Discussion in gleicher Weise geführt werden kann und dafs sich das Resultat von dem oben ausgesprochenen nur dadurch unterscheiden wird, dafs in demselben »Minimum-« statt »Maximum-Hyperbel« zu setzen ist.

*Die Curven gleicher Intensität* (die Horizontalcurven unseres Lichtgebirges) *schlingen sich demnach innerhalb eines jeden Feldes als geschlossene Curven um die Maxima oder Miuima herum.* —

Es erübrigt jetzt nur noch über die Construction der Fig. 5. Taf. I, noch dasjenige nachzutragen, was nicht unmittelbar aus der vorhergehenden Discussion zu entnehmen ist. Diese Figur stellt die Erscheinung dar, welche eine Salpeterplatte von 1mm Dicke im homogen gelben Lichte der Kochsalzflamme (Fraunhofer'sche Linie *D*) zeigt, wenn die Schwingungsrichtungen der beiden Turmaline einen Winkel von 45° mit einander bilden. Setzt man die optischen Constanten des Salpeters, nämlich $a = 0{,}6643$, $b = 0{,}6646$, $c = 0{,}7502$, in die Formel (6), so findet man

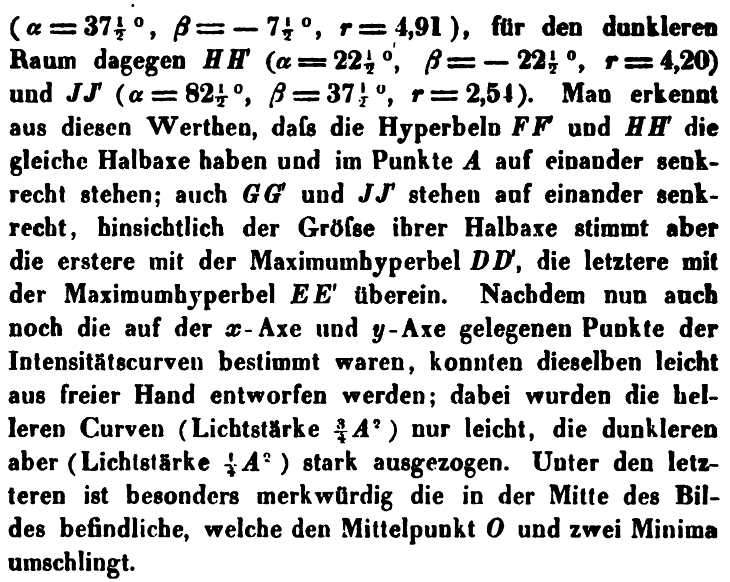
$p^2$ proportional der Zahl 0,009465, während gleichzeitig $q = 0{,}1622$ sich ergiebt. Da ferner $d = 1^{mm}$ und $\lambda = 0^{mm},000588$ beträgt, so findet sich $\frac{\lambda}{dq} = 0{,}00363$. Mittelst dieser Werthe wurden sodann einzelne Coordinatenwerthe sowohl der Haupt- als auch der Maximum- und Minimum-Lemniscaten aus den Formeln des §. 2 berechnet, nachdem dieselben zuvor so eingerichtet worden waren, dafs sie $p = 5$ (Centimeter) und alle übrigen Längen in demselben Verhältnifs vergröfsert ergaben. Mit Hülfe der berechneten Punkte konnten sodann die genannten zwei Lemniscatensysteme leicht entworfen werden.

Es wurden dann ferner $\varphi = 75^\circ$, $\psi = 30^\circ$, also $\varphi - \psi = 45$ angenommen; für die beiden Haupthyperbeln $BB'$ und $CC'$ wurden daraus die Axenrichtungen $\beta = 30^\circ$ und $\beta = -15^\circ$ mit den zugehörigen Halbaxen $r = 3{,}53$ und $r = 4{,}65$ gefunden. Der Maximumhyperbel $DD'$ entspricht als Asymptotenrichtung der Werth $\alpha = 52\frac{1}{2}^\circ$, die Axenrichtung $\beta = 7\frac{1}{2}^\circ$, die Halbaxe $r = 4{,}91$, während der zu ihr senkrechten Minimumhyperbel $EE'$ die Werthe $\alpha = 7\frac{1}{2}^\circ$ $\beta = -37\frac{1}{2}^\circ$, $r = 2{,}54$ zukommen.

Die Intensität der Maxima ist $A^2$, diejenige der Minima Null, die Haupthyperbeln und Hauptlemniscaten besitzen die Lichtstärke $\frac{1}{2}A^2$. Es wurden nun noch diejenigen Intensitätscurven angegeben, welchen die Lichtstärke $\frac{3}{4}A^2$ und $\frac{1}{4}A^2$ zukommt. Von jeder dieser Curven wurden zunächst vier Punkte bestimmt, nämlich erstlich diejenigen beiden, welche auf der Maximum- oder Minimumhyperbel liegen, und dann noch die auf den Maximum- und Minimumlemniscaten gelegenen. Die letzteren erhält man sämmtlich auf einmal, wenn man die vier Hyperbeln construirt, welche aus den Gleichungen:

$$\sin 2(75^\circ - \alpha) \sin 2(30^\circ - \alpha) = -\tfrac{1}{4}$$
$$\text{und } \sin 2(75^\circ - \alpha) \sin 2(30^\circ - \alpha) = +\tfrac{1}{4}$$

hervorgehen, als Durchschnittspunkte dieser Hyperbeln mit jenen Lemniscaten. Diese Hyperbeln sind für den helleren Raum $FF'$ ($\alpha = 67\frac{1}{2}^\circ$, $\beta = 22\frac{1}{2}^\circ$, $r = 4{,}20$) und $GG'$



($\alpha = 37\frac{1}{2}{}^\circ$, $\beta = -7\frac{1}{2}{}^\circ$, $r = 4{,}91$), für den dunkleren Raum dagegen $HH'$ ($\alpha = 22\frac{1}{2}{}^\circ$, $\beta = -22\frac{1}{2}{}^\circ$, $r = 4{,}20$) und $JJ'$ ($\alpha = 82\frac{1}{2}{}^\circ$, $\beta = 37\frac{1}{2}{}^\circ$, $r = 2{,}54$). Man erkennt aus diesen Werthen, dafs die Hyperbeln $FF'$ und $HH'$ die gleiche Halbaxe haben und im Punkte $A$ auf einander senkrecht stehen; auch $GG'$ und $JJ'$ stehen auf einander senkrecht, hinsichtlich der Gröfse ihrer Halbaxe stimmt aber die erstere mit der Maximumhyperbel $DD'$, die letztere mit der Maximumhyperbel $EE'$ überein. Nachdem nun auch noch die auf der $x$-Axe und $y$-Axe gelegenen Punkte der Intensitätscurven bestimmt waren, konnten dieselben leicht aus freier Hand entworfen werden; dabei wurden die helleren Curven (Lichtstärke $\frac{3}{4}A^2$) nur leicht, die dunkleren aber (Lichtstärke $\frac{1}{4}A^2$) stark ausgezogen. Unter den letzteren ist besonders merkwürdig die in der Mitte des Bildes befindliche, welche den Mittelpunkt $O$ und zwei Minima umschlingt.

Fig. 1 Taf. II zeigt einen Durchschnitt des Lichtgebirges längs der $x$-Axe $AOA'$; Fig. 2 Taf. II einen Durchschnitt längs der $y$-Axe; diese beiden Profile lassen die sattelförmige Gestaltung der Intensitätsoberfläche im Punkte $O$ erkennen.

Endlich zeigt Fig. 3 Taf. II ein Profil des Lichtgebirges längs einer der Maximum- und Minimum-Lemniscaten $tuvwz$, welche dabei gerade gestreckt gedacht wurde.

In Fig. 6 Taf. I ist die Zeichnung Fig. 5 Taf. I nochmals in halber Gröfse ausgeführt, und durch Schattirung die ungefähre Theilung der Lichtstärke angegeben. —

Aus der ganzen hier gegebenen Darstellung erhellt, dafs die Berechnung und Discussion des allgemeinsten Falles der Erscheinung, bei beliebiger Stellung der Turmaline zu einander und zum Krystall, keineswegs gröfsere Schwierigkeiten darbietet, als der gewöhnlich in den Lehrbüchern allein behandelte specielle Fall der rechtwinklig gekreuzten Turmaline. Bei gekreuzten Turmalinen coincidiren die beiden Haupthyperbeln, welche nebst den Hauptlemniscaten vollkommen schwarz erscheinen; die Intensitätsmaxima liegen dann

immer auf der Hyperbel, welche im Pole auf der schwarzen Hyperbel senkrecht steht. Fallen die Oscillationsrichtungen der Turmaline mit den Coordinatenaxen zusammen, so erscheinen diese selbst schwarz, und die Maxima reihen sich entlang jener Hyperbel, deren Asymptoten von der Abscissenlinie beiderseits um 45° abweichen und deren Halbaxe $= p$ ist. Wenn dagegen die Schwingungsrichtungen der Turmaline zu beiden Seiten um 45° von der Ebene der optischen Axen abstehen, so erscheint umgekehrt die eben genannte Hyperbel vollkommen dunkel, während die Maxima auf die beiden Coordinatenaxen fallen.

Auch die Interferenzerscheinungen der einaxigen, senkrecht zur optischen Axe geschnittenen Krystallplatten sind für $b = a$, also $p = 0$, in unsern Formeln enthalten; nur zieht sich jetzt jede Hyperbel auf ihre Asymptoten, d. h. auf zwei zu einander senkrechte, durch den Anfangspunkt gehende, gerade Linien, und jede Lemniscate auf einen um diesen Punkt beschriebenen Kreis zurück. —

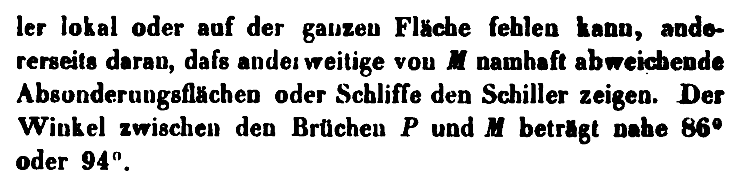
## VII. *Ueber das Schillern gewisser Krystalle;* *von E. Reusch.*

(Fortsetzung des Aufsatzes in Bd. CXVIII. S. 256)

### V. Der schillernde Labrador.

§. 22.

An jedem nur einigermaſsen homogenen Stück Labrador lassen sich zwei Blätterbrüche nachweisen; der erste *P* ist der leichtere und glasglänzend, der zweite *M* ist schwieriger herzustellen, er zeigt die bekannten Schillerfarben, oder nach **Hessels** Sprachweise, die Farbenwandlung. Daſs jedoch das Schillern kein wesentliches Attribut dieses Blätterbruchs ist, erkennt man einerseits daran, daſs der Schil-





ler lokal oder auf der ganzen Fläche fehlen kann, andererseits daran, dafs anderweitige von *M* namhaft abweichende Absonderungsflächen oder Schliffe den Schiller zeigen. Der Winkel zwischen den Brüchen *P* und *M* beträgt nahe 86° oder 94°.

Einen weiteren noch schwieriger herzustellenden Blätterbruch *T* hat, so viel ich weifs, zuerst Hessel (Kastner Archiv Bd. X S. 273) nachgewiesen, so dafs für den Labrador ein schiefwinkliches Hexaïd *PMT* (Fig. 4 Taf. II) bestände, wo *P* die schiefe Endfläche, *M* und *T* Säulenflachen wären. Stellt man die Kanten $M | T$ vertical, läfst die Kanten $P | M$ vom Beobachter weg nach Vorn ansteigen, und sorgt dafür, dafs die oben rechts liegende Kante $P | M$ (in der Figur die dicker gezeichnete) eine stumpfe ist, so ist nach Hessel

$$PM = 94^\circ 30', \; PT = 115^\circ, \; MT = 119^\circ.$$

Am finnländischen Labrador (diese Ann. Bd. XIX. S. 181) fand Nordenskjöld,

$$PM = 93^\circ 28' \; PT = 114^\circ 48', \; MT = 119^\circ 16'.$$

Ich selbst habe den Blätterbruch *T* mehrfach hergestellt, namentlich an einem hellblau schillernden Stücke, das ich meinem Freunde Oberstudienrath v. Kurr verdanke. Als Mittel aus mehreren Messungen am besten Stücke habe ich gefunden:

$$PM = 93^\circ 40', \; PT = 114^\circ 4', \; MT = 120^\circ 43'.$$

Der Reflex auf *T* ist freilich immer etwas unvollkommen, besonders wegen einer Streifung parallel den Säulenkanten, wodurch der Winkel *MT* unsicherer wird als der Winkel *PT*; übrigens habe ich auch an anderen Stücken *MT* immer etwas gröfser als 120° gefunden.

Der Labrador ist allezeit durchzogen von einer zahllosen Menge von Lamellen eines fremden Körpers; viele derselben liegen flach in den Blätterbrüchen *P* und *M* und zeigen eine bestimmte Orientirung; so fehlt z. B. niemals

ein Lamellenzug in $M$ parallel den Säulenkanten. Aufserdem beobachtet man in $P$ und $M$ geradlinige feine Sprünge oder Absonderungslinien von bestimmter Richtung. Der Labrador ersetzt so einigermafsen den Mangel äufserer Flächen durch vielfache sonstige Andeutungen und ich habe viel Zeit mit dem Versuch verloren, aus diesen Elementen das Axensystem des Labradors zu bestimmen; nachdem mir aber die für den Mineralogen und Physiker gleich schätzbare Mineralogie von A. Des Cloiseaux zur Hand gekommen war, und ich mich überzeugt hatte, dafs die auf Marignac's Messungen an Krystallen vom Aetna basirten Axen ohne erheblichen Fehler dem amerikanischen Labrador untergelegt werden können, habe ich dieselben einfach angenommen. Einige kleine Incongruenzen in den Zahlenangaben hat mein College Prof. Dr. Zech durch Neuberechnung der Marignac'schen Messungen beseitigt. Hiernach sind (Des Cloiseaux p. 303) die Verhältnisse $b:c:h$ richtig, dagegen ist $D = 844{,}8$, $d = 522{,}9$; ferner ist der ebene Winkel von $t = 100^\circ\ 46'\ 12''$. Nimmt man nun die verticale Axe $C$ parallel der Kante $M \mid T$ (Fig. 4 Taf. II), die Axe $a$ parallel $M \mid P$ nach vorn ansteigend, so steht $b$ nahe senkrecht auf der Axenebene $ac$ und man hat

$$\angle ab = 89^\circ\ 8',0;\quad \angle ac = 64^\circ\ 25',2;\quad \angle cb = 92^\circ\ 37',6;$$

$$\frac{a}{618{,}9} = \frac{b}{1000} = \frac{c}{538{,}5}.$$

In Betreff der so häufigen Zwillingsbildungen verweise ich auf die Angaben der Mineralogen und bemerke, dafs ich am liebsten mit solchen Zwillingen operirt habe, bei welchen $M$ die Zwillingsfläche war, also $P$ die bekannte Streifung parallel $P \mid M$ hatte. Stücke bei welchen *ein* System aus namhaft dickeren Schichten besteht, als das andere, lassen sich fast wie einfache behandeln, während solche, bei denen beide Systeme aus sehr feinen gleich dünnen Schichten bestehen, zu mancherlei Irrungen Veranlassung geben können.





§. 23.

Dafs der Schiller des Labradors von derselben Art ist wie der des Adulars, habe ich zuerst an der Schliffläche eines goldglänzenden Stücks aus der hiesigen Sammlung erkannt. Das Nebelbild des Fensterkreuzes oder einer Kerzenflamme wurde in der Richtung des Schillermaximums deutlich erkannt, wenn es auch nicht dieselbe Präcision hatte wie im Adular. Zum Zwecke genauerer Beobachtungen des Nebelbildes wurde ein Stückchen parallel der willkührlichen vom Steinschneider herrührenden Schliffläche abgenommen; dasselbe hatte nach dem Schleifen und Poliren $6^{mm}$ Breite, $10^{mm}$ Länge und $1^{mm}$ Dicke; es ist das gröfste homogene Stück, das ich geschliffen habe. Der Brechungscoëfficient wurde an einem besonderen kleinen Prisma bestimmt und $n = 1{,}5612$ gefunden. Die Beobachtungen geschehen in der §. 13 beim Adular näher beschriebenen Weise. Die Horizontalstellung der Haupteinfallsebene erhielt man dadurch, dafs das Nebelbild ins Sehfeld gebracht und durch kleine Drehungen der horizontalen Glasaxe sammt Krystall die gröfste Helligkeit des Bildes erzielt wurde. Die nachfolgende Tabelle enthält einen Satz von Beobachtungen: die Bedeutung der Gröfsen $\mu$, $\varrho$, $\varphi$ ergiebt sich aus §. 6. Das Fernrohr wurde der Reihe nach auf die beliebigen Azimute 100°, 110 usw. gestellt; durch Drehen des Krystalls allein um die Verticalaxe das Nebelbild ins Sehfeld gebracht, und nachher durch Drehen des Fernrohres allein das Azimut $\varrho$ des Spiegelbildes bestimmt. Diese Procedur wurde für jedes Azimut $\mu$ mehrfach wiederholt; die Tabelle enthält unter den einzelnen $\varrho$ deren Mittel, und die hieraus folgenden Werthe von $\mu - \varrho$ und $\varphi$.

| $\mu$ | $\varrho$ | $\mu-\varrho$ | $\varphi$ | $\mu$ | $\varrho$ | $\mu-\varrho$ | $\varphi$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100° | 28° 50' | | | 150° | 88° 42' | | |
| | 26 1 | | | | 86 36 | | |
| | 25 55 | | | | 87 20 | | |
| | 26° 55',5 | 73° 4',5 | 18° 9',4 | | 87° 32',7 | 62° 27',3 | 18°55',8 |
| 110° | 39° 43' | | | 160° | 99° 6' | | |
| | 39 45 | | | | 98 16 | | |
| | 39 5 | | | | 98 40 | | |
| | 39° 31' | 70° 29' | 18° 40',4 | | 98 38 | | |
| | | | | | 98° 40' | 61° 20' | 18°52',1 |
| 120° | 53° 37' | | | | | | |
| | 51 13 | | | 200° | 139°57' | | |
| | 52 8 | | | | 138°53 | | |
| | 52° 19',5 | 67° 40',5 | 18° 46',5 | | 138°30 | | |
| | | | | | 139° 6',7 | 60° 53',3 | 18°44',4 |
| 130° | 64° 24' | | | | | | |
| | 63 48 | | | 220° | 157°16' | | |
| | 65 55 | | | | 157 38 | | |
| | 64° 22',5 | 65° 37',5 | 18° 54',6 | | 157 38 | | |
| | | | | | 158 19 | | |
| 140° | 75° 20' | | | | 157 17 | | |
| | 75 57 | | | | 157°45',6 | 62° 14',4 | 18°30',2 |
| | 77 36 | | | | | | |
| | 76° 17',7 | 63° 42',3 | 18° 54',2 | | | | |

Der Winkel $\mu - \varrho$ ist, wie man sieht, veränderlich und in der Nähe von $\mu = 200°$ Minimum; die Differenzen der berechneten Werthe von $\varphi$ erklären sich wohl genügend aus der Schwierigkeit genauer Beobachtungen.

Der fragliche Krystall stammt aus der Glocker'schen Sammlung; sein $P$ zeigt keinerlei Streifung, er ist daher entweder einfach, oder ein Zwilling nach $P$. Der Bruch $M$ ist schwer und nur durch Ansägen und Abbrechen in einiger Ausdehnung zu erhalten; Streifung habe ich auf $M$ nicht beobachtet, so dafs der Krystall wohl einfach ist, worauf auch die durch $M$ zum Theil sichtbaren Farbenringe im polarisirten Licht hindeuten.

Die nachfolgende Tabelle enthält Beobachtungen an einer kleineren Platte, deren Schliff von $M$ nur sehr wenig abweicht.

| $\mu$ | $\varrho$ | $\mu-\varrho$ | $\varphi$ |
|---|---|---|---|
| 100° | 52° 9' | | |
| | 52 44 | | |
| | 51 8 | | |
| | 52° 0',3 | 47° 59',7 | 12° 29',5 |
| 120° | 75° 50' | | |
| | 77 18 | | |
| | 76 28 | | |
| | 76° 32 | 43° 28' | 12° 27',3 |
| 130° | 87° 15' | | |
| | 87 37 | | |
| | 87 3 | | |
| | 87° 18',3 | 42° 41',7 | 12° 38',1 |
| 140° | 98° 6' | | |
| | 98 5 | | |
| | 99 36 | | |
| | 98° 35',7 | 41° 24',3 | 12° 34',2 |
| 150° | 109°48 | | |
| | 108 34 | | |
| | 108 25 | | |
| | 108°55',7 | 41° 4',3 | 12° 42'' |

| $\mu$ | $\varrho$ | $\mu-\varrho$ | $\varphi$ |
|---|---|---|---|
| 200° | 158°26 | | |
| | 158 40 | | |
| | 157 36 | | |
| | 160 0 | | |
| | 158 16 | | |
| | 159 40 | | |
| | 157 30 | | |
| | 158 11 | | |
| | 158 34 | | |
| | 159 13 | | |
| | 160 4 | | |
| | 158°44',55 | 41°15',45 | 12°55' |
| 240° | 195° 0 | | |
| | 194 37 | | |
| | 194 0 | | |
| | 194°52',3 | 45° 7,7 | 12°54',5 |
| 250° | 204°43 | | |
| | 203 48 | | |
| | 202 38 | | |
| | 203° 21' | 46° 39' | 12°47',5 |

Weil das Nebelbild für $\mu = 200°$ von besonderer Helligkeit war, so wurden hierfür mehrere Einstellungen gemacht und es dürfte der hieraus sich ergebende Werth von $\varphi$, welcher somit wenig von 13° verschieden ist, der Wahrheit ziemlich nahe kommen.

Wenn nun auch diese Beobachtungen noch nicht ausreichen zur Bestimmung der inneren Durchgänge, so zeigen sie doch wie ich glaube in genügender Weise, dafs sowohl für Schliffe nach *M*, als für namhaft davon abweichende, die Farbenwandlung den früher angegebenen Gesetzen folgt. Das Gleiche gilt für jede andere Gattung Labrador und ich halte es daher für überflüssig hierauf wieder zurückzukommen.

## §. 24.

Für alle Beobachtungen ist es nöthig gute Schliffe zu haben, weil die natürlichen *M* sehr selten die gehörige Ausdehnung darbieten und der muschlige Verlauf grofse Feh-

ler in der Bestimmung der Schillerrichtung veranlassen würde. Zu diesem Zwecke habe ich mir theils durch Spalten mit dem Meifsel, theils durch partielles Zersägen nach *M* und Abbrechen, Stücklein verschafft, welche *auf beiden Seiten* gut spiegelnde Stellen auf *M*, wenn auch von kleiner Ausdehnung, darboten. Mit Siegellak wurde dann der Krystall auf der Mitte einer Glasplatte befestigt und wenn das Siegellak dem Ersteren nahe war, durch Drücken des Krystalls, das Spiegelbild eines fernen Objects im Glas und in dem oben liegenden *M* zur Coïncidenz gebracht. Vier in den Ecken der Glasplatte angekittete Glasplättchen (s. §. 12) machten es dann möglich, an den Krystall eine der Glasplatte parallele Fläche anzuschleifen und zu poliren. An dem herabgenommenen Krystall hat man nun in der natürlichen Gegenfläche eine Controle für die Richtigkeit des Schliffs, sowie das Mittel, die etwaige Abweichung in Rechnung zu nehmen, wie diefs für den Adular in §. 13 gezeigt worden ist. Meine Hauptstücke zeigten übrigens so geringe Abweichungen vom wahren *M*, dafs eine Correction überflüssig war.

Wenn ein geschliffenes horizontales *M* einem senkrecht darüber stehenden Auge den höchsten Glanz zeigt, so ist (bei allen von mir untersuchten Labradorkrystallen) die Kante *M*|*P*, welche vorn oben liegt, immer stumpf; dabei kann aber, je nachdem ein *M* oder seine Gegenfläche oben liegt, die stumpfe Kante *P*|*M* rechts (Fig. 5*a* Taf. II) oder links (Fig. 5*b* Taf. II) liegen. Im ersten Fall laufen die Kanten *M*|*T* von Links nach Rechts, im zweiten von Rechts nach Links. Man erkennt diefs an einem Stücke, welches ein *T* enthält, oder ebenso sicher an jedem Stücke mit Hülfe der allezeit vorhandenen und stark dominirenden Lamellenzüge, deren Längenrichtung parallel *M*|*T* geht. Umgekehrt ist daher auch der Schiller ein einfaches Mittel, um an jedem Stücke, die stumpfe Kante und die Lage der Säulenkanten sofort zu erkennen. Mit zwei gleichen Holzmodellen des Hexaïds *PMT* (Fig. 4 Taf. II) an welchen etwa (nach Quenstedt's Manier) die scharfen Kanten *P*|*M*





durch Bestreichen mit Rothstift ausgezeichnet sind, wird man sich diese Verhältnisse, sowie auch die Zwillingsbildungen gut zur Anschauung bringen können.

Gelingt es nun auf *M* die Richtung der Haupteinfallsebene *HE* zu bezeichnen (Fig. 6 Taf. II), so kann man nachher den Winkel $\lambda$ zwischen $P \mid M$ und *HE* messen. Die Sectionslinie der inneren Durchgänge, welche den Schiller bewirken, macht dann mit $P \mid M$ den Winkel $90^{\circ} - \lambda$ und die nach vorn abfallenden Durchgänge machen mit *M* den durch Beobachtungen des Nebelbildes bestimmten Winkel $\varphi$.

Eine genaue Bestimmung des Winkels $\lambda$ ist jedoch wegen des immer etwas diffusen Schillers mit ziemlicher Schwierigkeit verbunden. Da bei den Beobachtungen des Nebelbildes die Haupteinfallsebene sehr nahe parallel dem Limbus des horizontalen Theilkreises des Goniometers war, so bestimmte ich anfangs die Richtung *HE* dadurch, dafs ein passend ausgeschnittenes Lineal mit der unteren Kante auf den Limbus, mit der oberen Kante an den Krystall angelegt und nach der letzteren eine feine Diamantlinie auf den Krystall gezogen wurde. Später habe ich aber die Bestimmung von $\lambda$ ganz getrennt von den Beobachtungen am Goniometer. Zu diesem Zwecke wurde der Krystall mit Wachs auf einer Glasplatte befestigt und mit Hülfe eines fernen Objects das spiegelnde *M* mit der Glasfläche parallel gemacht. Die Glasplatte war rund, hinten matt und geschwärzt, und konnte mit einem Messingring, in den sie gefafst war, mit sanfter Reibung auf eine, um einen kurzen verticalen Zapfen drehbare Alhidade central aufgesetzt werden. Die Alhidade selber lag auf einer horizontalen Holzfläche, hatte $18^{Cm}$ Länge und wies mit einer Spitze auf eine papierene Kreistheilung, welche rechts und links vom Beobachter angebracht etwa $20^{\circ}$ einnahm. Ueber dem Centrum der Alhidade stand senkrecht ein ganz schwach vergröfserndes Mikroskop. Fest verbunden mit dem horizontalen Alhidadenbrett war eine verticale schwarz angestrichene Holzfläche mit einem verticalen $1^{Cm}$ breiten Schlitz

angebracht, durch welchen das Licht des Himmels oder eines Argandgasbrenners, dessen Höhe passend regulirt wurde, einfiel. Der Abstand des Albidadencentrums vom verticalen Brette betrug $34^{cm}$; ein dünnes schwarz angestrichenes Furnür, das vom oberen Ende des Schlitzes bis zum Mikroskop herabreichte, verdeckte den Schlitz für den Beobachter, ohne dafs das Licht gehindert war, auf den Krystall zu fallen.

Fällt nun Licht durch den Schlitz auf den Krystall, so kann man denselben auf der festgehaltenen Alhidade so drehen, dafs der Schiller im Maximum ist, und sich dann überzeugen, dafs die Intensität des Schillers sofort abnimmt, wenn die Alhidade sammt Krystall nach Rechts oder Links etwas gedreht wird.

Am Träger der Mikroskopröhre war endlich ein kleines Reifserwerk mit Diamantspitze angebracht, mit Hülfe dessen auf den Krystall bei höchstem Schiller eine zarte Linie gezogen werden konnte, deren Richtung so gut als möglich in der Einfallsebene des Lichtes lag. Zuletzt wurde die Glasscheibe von der Alhidade abgenommen und unter dem Mikroskopgoniometer der Winkel $\lambda$ bestimmt, den die Diamantlinie mit den allezeit vorhandenen Absonderungslinien $P.M$ macht, welche durch feine Sprünge oder Lamellen parallel $P$ in der Fläche $M$ gebildet werden.

Die nachfolgende Beobachtungsreihe mag zeigen mit welchem Grad von Genauigkeit die Einstellung des Krystalls auf höchsten Glanz mit diesem Apparate geschehen kann. Die Alhidade wurde hierbei auf irgend einen Punkt der Theilung, z. B. auf 15° eingestellt, der Krystall für sich durch Drehung des Messingrings auf höchsten Glanz gebracht, und nachher mit möglichster Unbefangenheit die Alhidade beliebig gedreht und wieder auf Schillermaximum zurückgeführt. Man erhielt so für einen blauschillernden Labrador die folgenden Ablesungen:

| | |
|---|---|
| 15° | 16°,4 |
| 14 ,4 | 15 ,5 |
| 14 ,3 | 15 ,9 |
| 14 ,9 | 16 ,0 |
| 14 ,1 | 14 ,6 |
| 14 ,3 | 16 ,2 |
| 13 ,8 | 14 ,8 |
| 14 ,1 | 15 |
| 14 ,3 | 15 ,2 |
| 14 ,9 | 15 ,5. |

Das Mittel aller Einstellungen beträgt 14°,96 und die gröfste Abweichung davon nicht ganz 1°,5.

Es ist rathsam, die Diamantlinie erst dann zu ziehen, nachdem eine Reihe solcher Einstellungen gemacht und die Alhidade auf das berechnete Mittel derselben eingestellt ist. Verschiebt man den Krystall wenig auf seiner Wachsunterlage, justirt ihn aufs Neue, so kann man weitere Diamantlinien ziehen und das Mittel der so erhaltenen $\lambda$ ist der wahrscheinlichste allerdings noch durch etwaige Abweichungen des Reifserwerks afficirte Werth der gesuchten Gröfse. Die letztgenannten Abweichungen sind bei meinem Apparate jedenfalls sehr unbedeutend.

§. 25.

Längere Zeit glaubte ich aus meinen Beobachtungen schliefsen zu können, es sey in allen mir zur Hand gekommenen Labradorstücken dasselbe System innerer Durchgänge, welche das Schillern bewirkt. Die Abweichungen, die sich an verschiedenen Individuen in den Werthen von $\lambda$ und $\varphi$ ergaben, glaubte ich der Unvollkommenheit meiner Beobachtungen oder Störungen in der Structur zuschreiben zu können. Nachdem ich aber in der Herstellung der Präparate mehr Fertigkeit und in den Beobachtungen mehr Sicherheit erlangt hatte, nachdem namentlich der im §. 24 beschriebene Apparat hergestellt war, habe ich mich über-

zeugt, dafs an verschiedenen Individuen der Schiller von verschiedenen inneren Durchgängen herrühren kann.

Die meisten und vielleicht besten Beobachtungen habe ich an dem mehrfach erwähnten hellblauschillernden Labrador von Freund Kurr angestellt. In Folge mehrfacher innerer Splitterung, wozu nicht schillernde Adern kamen, erhielt ich jedoch nur Präparate von kleiner Ausdehnung, deren gröfstes noch nicht einen halben Quadratcentimeter hatte. Trotzdem erlaubte der sehr intensive Schiller ziemlich scharfe Einstellungen; die Krystalle waren bei einer Dicke von 2mm gehörig durchsichtig und gaben im durchgelassenen Licht sehr deutlich die Complementarfarbe des Schillers. Dasselbe findet übrigens bei allen schillernden Labradoren statt; nur bedarf es bei den weniger durchsichtigen, zu welchen die dunkelblau, purpur, namentlich aber grün schillernden zu gehören scheinen, dünnerer Lamellen oder Schliffe, um diefs zu sehen.

Meine zwei Hauptstücke des hellblauschillernden Labradors gaben nun durch Messung des Winkels $\lambda$ zwischen mehreren Diamantlinien längs der Haupteinfallsebene und den Linien $P|M$ folgende Werthe:

| | Stück I. | Stück II. |
|---|---|---|
| | $\lambda = 20^\circ\ 12'$ | |
| | $= 20^\circ\ 0'$ | $\lambda = 20^\circ\ 36'$ |
| | $= 20^\circ\ 24'$ | $21^\circ\ 0'$ |
| | $= 20^\circ\ 6'$ | $20^\circ\ 48'$ |
| Mittel | $= 20^\circ\ 10',5$ | Mittel $= 20^\circ\ 48'$. |

Macht man in Fig. 6 Taf. II, $\angle aEc = 64^\circ\ 25',2$ (s. §. 22) trägt die Axen $Ea = 618,9$, $Ec = 538,5$ auf dessen Schenkeln auf, so findet man, dafs eine Sectionslinie, bestimmt durch die Punkte $\frac{1}{4}a$ und $\frac{1}{2}c$ mit $Ea$ oder $P|M$, $69^\circ\ 39',4$, und daher die zu ihr senkrechte $EH$ mit $P|M$ $20^\circ\ 20',6$ macht. Die Sectionslinie $(\frac{1}{4}a, \frac{1}{2}c)$ ist daher wohl die Spur der inneren Durchgänge in der Ebene $M$. Die Durchgänge selber werde ich, wie beim Adular mit $\delta$ bezeichnen.





Die genannten Stücke zeigen auf *M* mancherlei Lamellenzüge, von denen man sich überzeugt, dafs sie dem Gesetze der rationalen Schnitte entsprechen, namentlich aber Züge parallel *Ea*, *Ec*, *ac*; aufserdem zeigt Stück I noch eine sehr deutliche Absonderungslinie parallel der Linie ($\frac{1}{3}a$, $\frac{1}{2}c$), welche ich jedoch nicht mit $\delta$ selber, sonden mit einem an dem Kurr'schen Krystall von mir beobachteten Blätterbruch in Zusammenhang bringen möchte. Quenstedt hat denselben mit *T* bezeichnet und »zweite Schillerfläche« genannt. (S. dessen Mineralogie, 2. Aufl. S. 132 und 234). Dieser zwar sehr gut angedeutete, aber nicht spiegelnde Bruch fällt in derselben Richtung ab wie $\delta$, liegt mit *M* und $\delta$ in gleicher Zone und macht etwa 45° mit M; das Symbol von *T* dürfte seyn ($\frac{1}{3}a$, $\frac{1}{5}b$, $\frac{1}{2}c$) oder kürzer (3, 5, 2). Die Axe *b* hat man sich in Fig. 6 Taf. II in *E* nahe senkrecht zur Papierebene nach oben gehend zu denken. Der Bruch *T* schillert so ziemlich in derselben Farbe wie *M*; die auszeichnende Benennung »zweite Schillerfläche« möchte ich jedoch deswegen nicht gerne adoptiren, weil theils an dem fraglichen Krystall, theils an dem oben erwähnten goldglänzenden, sowie an einem hellblauschillernden Labrador, den ich der Liberalität des Hrn. Dr. Krantz in Bonn verdanke, mehrere leider nicht scharf bestimmbare Flächen von kleiner Neigung gegen *M* vorkommen, welche ausgezeichnet schillern. Der letztgenannte Krystall war wegen starker Zerklüftung nicht zu Schliffen geeignet, dagegen enthielt er vielfache, freilich nicht scharf fafsbare Andeutungen von Flächen, die auf einen flächenreichen Krystall, etwa vom Habitus des Anorthits, hinzuweisen scheinen.

Zur Bestimmung des Winkels $\varphi$ dienten die nachfolgenden Beobachtungen des Nebelbildes:

Stück I.

| $\mu$ | $\varrho$ | $\mu$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|
| 150° | 102° 33′ | 205° | 157° 55′ |
| | 101° 22′ | | 156° 44′ |
| | 102° 13′ | | 155° 36′ |
| | 102° 43′ | | 158° 15′ |
| | 100° 51′ | | 158° 11′ |
| | 102° 40′ | | 157° 14′ |
| | 103° 36′ | | 157° 52′ |
| | 103° 11′ | | 157° 27′ |
| | 101° 59′ | | 156° 1′ |
| | 102° 2′ | | 156° 44′ |
| | 102° 19′,0 | | 157° 11′,9 |

Stück II.

| $\mu$ | $\varrho$ | $\mu$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|
| 150° | 103° 43′ | 205° | 155° 11′ |
| | 103° 4′ | | 157° 26′ |
| | 101° 37′ | | 157° 50′ |
| | 102° 42′ | | 156° 55′ |
| | 102° 14′ | | 156° 56′ |
| | 101° 48′ | | 157° 3′ |
| | 102° 31′,3 | | 156° 53′,5 |

Der Brechungscoëfficient dieses Labradors ist $n = 1{,}5617$, sehr wenig abweichend von dem in §. 23 für den goldglänzenden angegebenen. Hiermit erhält man

für Stück I $\varphi = 14°\ 39',7$, für Stück II $\varphi = 14°\ 36',1$
$\varphi = 14°\ 48',1$, $\varphi = 14°\ 53',5$
und als Mittel $\varphi = 14°\ 44',35$.

Mit Zugrundlegung der in §. 22 angenommenen Axenverhältnisse findet man endlich, daſs eine Fläche, welche durch die Punkte $\frac{1}{3}a$ und $\frac{1}{2}c$ geht und mit $B$ den angegebenen Winkel macht, von der Axe $b$ nahezu $\frac{1}{18}$ abschneidet, so daſs also $(\frac{1}{3}a, \frac{1}{18}b, \frac{1}{2}c)$ oder (3, 18, 2) das Symbol der inneren Durchgänge $\delta$ für den fraglichen hellblauschillern Labrador wäre.

Für den früher erwähnten goldglänzenden Labrador aus der hiesigen Sammlung fand ich mit zwei sehr gut

übereinstimmenden Diamantstrichen $\lambda = 25°$. Eine zu $HE$ (Fig. 6 Taf. II) senkrechte Gerade macht daher 65° mit $Ea$ oder $P \mid M$; andererseits macht eine Sectionslinie ($\frac{1}{4}a$, $\frac{1}{3}c$) mit $P \mid M$ den Winkel 64° 30′, so dafs wahrscheinlich diese Linie die Spur der inneren Durchgänge in $M$ ist. Nahe denselben Werth von $\lambda$ habe ich an einem purpurglänzenden Labrador, den ich ebenfalls Freund Kurr verdanke, gefunden. Ebenso stimmen für diese beiden Labradore die Winkel $\varphi$, welche zwischen 12° und 13° fallen, ziemlich überein. Für den goldglänzenden sind die Beobachtungen schon am Ende des §. 23 angegeben. Den Brechungscoëfficienten des purpurschillernden fand ich sehr nahe gleich dem des hellbraun und goldglänzenden, nämlich $n = 1{,}5619$. Die nachfolgenden Beobachtungen:

| | $\mu$ | $\varrho$ | | $\mu$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | 130° | 88° 56′ | | 204° | 164° 42′ |
| | | 89° 33′ | | | 165° 39′ |
| | | 88° 36′ | | | 165° 23′ |
| | | 89° 24′ | | | 165° 31′ |
| | | 89° 5′ | | | 164° 11′ |
| | | 88° 56′ | | | 165° 28′ |
| geben | $\varphi =$ | 12° 6′,2 | und | $=$ | 12° 24′,7 |

Wegen einer merklichen Trübung des Krystalls möchte ich diesen Beobachtungen einen niederen Werth beilegen, als den am goldglänzenden Labrador. Eine Ebene durch die Sectionslinie ($\frac{1}{4}a$, $\frac{1}{3}c$), welche gegen 13° mit $M$ macht, schneidet von der Axe $b$ ohngefähr $\frac{1}{31}$ ab, und es wäre daher ($\frac{1}{4}a$, $\frac{1}{31}b$, $\frac{1}{3}c$) oder (4, 31, 3) das Symbol der inneren Durchgänge für die letztgenannten Labradore.

Für einen etwas trüben käfergrün schillernden Labrador aus Nörremberg's Nachlafs fand ich $\lambda = 15° 20′$. Die Beobachtungen des Nebelbildes waren die nachfolgenden:

| $\mu$ | $\varrho$ | $\mu$ | $\varrho$ |
|---|---|---|---|
| 150° | 91° 10′ | 220° | 159° 20′ |
| | 90° 40′ | | 159° 24′ |
| | 89° 0′ | | 158° 36′ |
| | 91° 26′ | | 159° 35′ |
| | 90° 58′ | | 159° 7′ |
| | 89° 52′ | | 158° 10′ |

Der Brechungscoëfficient wurde nicht besonders bestimmt da sich aus den Beobachtungen des Nebelbildes ergab, dafs er nicht erheblich von den früher gefundenen verschieden seyn könne. Mit dem Werthe $n = 1{,}5619$ erhält man aus den mitgetheilten Beobachtungen $\varphi = 18^{\circ}\ 4',9$ und $18^{\circ}\ 8',5$, im Mittel $18^{\circ}\ 6',7$. Eine Fläche vom Symbol $(\frac{1}{5}a, \frac{1}{25}b, \frac{1}{3}c)$ oder (5, 25, 3) dürfte die inneren Durchgänge dieser Varietät genügend darstellen.

Hiernach scheint es nöthig, für jede Gattung Labrador die Winkel $\lambda$ und $\varphi$ durch besondere Beobachtungen zu bestimmen, wobei sich wohl die Zahl der verschiedenen wirklich vorkommenden $\delta$ als eine mäfsige erweisen wird. Aber auch *der* Fall ist denkbar, dafs an demselben Stücke gleichzeitig zwei oder mehrere den Schiller bewirkende Durchgänge existiren können, wodurch die optischen Erscheinungen ziemlich complicirt ausfallen müfsten.

§. 26.

Schon in der Einleitung habe ich bemerkt, dafs die Resultate meiner Beobachtung am amerikanischen Labrador nicht übereinstimmen mit dem, was Nordenskjöld (diese Ann. Bd. XIX p. 179 sq.) am finnländischen Labrador gefunden hat. In Betreff der Krystallgestalt besteht, wie es scheint, kein erheblicher Unterschied (l. c. S. 180 v. 181); dagegen scheint der Labrador von Ojamo vor dem amerikanischen manche, zum Theil zauberhafte Erscheinungen voraus zu haben, und ich bedaure sehr, dieses Mineral nicht aus eigener Anschauung zu kennen. »Das Refractionsvermögen« desselben giebt Nordenskjöld zu 1,633 an (l. c. S. 181); in einer Note S. 189 wird zwar eine mit $a$ bezeichnete Gröfse »das Brechungsverhältnifs« genannt, welche, wie der Zusammenhang zeigt, die Reciproke des Brechungscoëfficienten ist; wahrscheinlich bedeutet aber die obige Zahl den Brechungscoëfficienten im gewöhnlichen Sinne genommen. Die von mir an sehr verschiedenen Stücken amerikanischen Labradors gefundenen $n$ weichen sehr wenig von einander ab und sind nur wenig gröfser als 1,561.

Wenn ich die Angaben auf S. 185 richtig aufgefafst habe,





so wäre für den finnländischen Labrador $\lambda = 90° - 84° = 6°$. Zur Bestimmung des Winkels $\varphi$ mag eine Angabe auf S. 189 Anmerk. dienen, nach welcher für normal ausfahrenden Schiller der einfallende Strahl 24° 28′ mit der Krystallfläche, folglich 65° 32′ mit dem Einfallsloth macht. Mit der Formel 3 in §. 4 und dem Brechungscoëfficienten $n = 1{,}633$ findet man $\varphi = 16° \, 56' \, 15''$. Aendert man das wahrscheinlich nicht sehr scharf bestimmte $\lambda$ in der Art ab, dafs man auf eine benachbarte Sectionslinie kommt, so könnte man vielleicht die inneren Durchgänge durch das Symbol $(\frac{1}{2} a, \frac{1}{11} b, \frac{1}{1} c)$ oder (2, 11, 1) repräsentiren. Ich habe Ursache zu glauben, dafs die Beobachtungsmethoden Nordenskjöld's, welche nicht näher beschrieben sind, nicht geeignet waren, um die hier obwaltenden Gesetze und die nöthigen Constanten festzustellen; namentlich aber bin ich überzeugt, dafs sich Nordenskjöld auf Grund mangelhafter Beobachtungen, an denen die Methode der kleinsten Quadrate nichts zu bessern vermochte, hat verleiten lassen, ein Gesetz über den Schiller aufzustellen, das zwar sehr einfach wäre, aber von keinem von mir untersuchten Adular oder Labrador bestätigt wird. Nach Nordenskjöld wäre nämlich für den finnländischen Labrador der Winkel zwischen Spiegelbild und Nebelbild, also nach meiner Bezeichnung der Winkel $\mu - \varrho$ für alle Incidenzen constant. Die in §. 12 und §. 23 mitgetheilten Beobachtungen weisen im Gegentheil darauf hin, dafs dieser Winkel eines Minimum fähig ist, und die in §. 4 gegebene Theorie des Schillers ergiebt mit Leichtigkeit, dafs diefs stattfindet für $\alpha = \alpha_1$, d. h. für diejenige Incidenz, bei welcher der Schiller dem eintretenden Lichte entgegen läuft, (gegenläufiger Schiller). Ohne eine besondere Vorrichtung, von der in §. 2 die Rede war, ist unter diesen Umständen eine gute Beobachtung nicht zu machen und ich vermuthe daher, dafs Nordenskjöld etwaige Beobachtungen, nach seinem supponirten Gesetz, nach welchem $\mu - \varrho$ constant wäre, aus anderweitigen Messungen corrigirt haben könnte. Dadurch aber verlöre der von ihm versuchte strenge Beweis (S. 189) für die Unhaltbarkeit der

Hypothese **innerer Durchgänge** als Ursache des Schillers seine ganze **Bedeutung**. Sein Raisonnement ist Folgendes: Angenommen, innere Durchgänge bewirken den Schiller, so hat man (nach meinen Bezeichnungen) mit Rücksicht auf § 4 Formel 2 und 3, für gegenläufigen Schiller $\sin a = n \sin \varphi$ und für normalen Schiller $\sin a_1 = n \sin 2\varphi$. Eliminirt man aus diesen zwei Gleichungen $\varphi$, so kommt

$$n = \frac{\sin a}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sin a_1}{2 \sin a}\right)^2}}.$$

Aus den Einfallswinkeln $a$ und $a_1$ für gegenläufigen und normalen Schiller müfste man daher den sonst bekannten Brechungscoëfficienten der Substanz wiederfinden. Nach Nordenskjöld ist aber $a = 90^\circ - 57^\circ 14 = 32^\circ 46'$, und $a_1 = 90^\circ - 24^\circ 28' = 65^\circ 32'$; hiermit aber findet man $n = 1$, woraus folgen soll, dafs gar keine Refraction stattfinde, sondern der Strahl zurückpralle und auf der Fläche Farben spiele, wie wenn diese viele feine Streifen hätte.

Läfst man den Werth $a_1$ für den normalen Schiller gelten, sofern in diesem Falle ohne besondere Hülfsmittel einigermafsen brauchbare Messungen zu machen sind, so findet man den schon oben angegebenen Werth $\varphi = 16^\circ 56' 16''$ und hieraus die Incidenz für den gegenläufigen Schiller $a = 28^\circ 24' 26''$ und $90^\circ - a = 61^\circ 35' 34''$, wofür Nordenskjöld $57^\circ 14'$ hat. Eine Abweichung von $4^\circ$ kann aber bei Messungen über den gegenläufigen Schiller, wenn nicht ganz besondere Hülfsmittel angewendet werden, recht wohl vorkommen.

Wahrscheinlich entspricht aber die Zahl $57^\circ 14'$ einer corrigirten Beobachtung; denn aus der Beobachtung des normalen Schillers folgt $\mu - \varrho = a_1 = 65^\circ 32'$, und hieraus, wenn $\mu - \varrho$ constant angenommen wird, $a = \frac{1}{2} . 65^\circ 32' = 32^\circ 46'$ was die von Nordenskjöld angegebene Gröfse ist. Setzt man aber so in den obigen, unter der Hypothese innerer Durchgänge entwickelten Ausdruck für $n$, Werthe von $a$ und $a_1$, welche einem ganz anderen Gesetze, nämlich dem des constanten $\mu - \varrho$ entsprechen, so kann sich die

Zweckwidrigkeit der Combination zweier sich ausschliefsenden Gesetze nur durch ungereimte Werthe von $n$ aussprechen.

Aufserdem hat der Schiller des Labradors Nichts was den Gedanken an seine Entstehung durch feine Linien an der Oberfläche unterstützen könnte; der Schiller durchbricht die unregelmäfsigsten Bruchflächen, die mattesten und rohesten Schliffe; er kommt daher von tiefer liegenden, durch den Act des Spaltens und Schleifens nicht berührten Flächenelementen und ist von derselben Art wie der innere der Perlmutter, welcher fafst in vollem Glanze übrig bleibt, wenn auch die Oberfläche durch Mattschleifen des auf weiche Körper übertragbaren oberflächlichen Schillers, der zu den Gittererscheinungen gehört, gänzlich beraubt ist.

§. 27.

Das auf $M$ gesehene Nebelbild einer Kerzenflamme erscheint als elliptische Scheibe, deren grofse Axe in der Haupteinfallsebene liegt; für durchsichtigen Labrador ist die Scheibe breiter als für weniger durchsichtigen. Mit der Dichrolupe geprüft, giebt der normal ausfahrende Schiller zwei ziemlich gleichfarbige Bilder, von denen jedoch das nach der Einfallsebene polarisirte, dessen Licht parallel den inneren Durchgängen schwingt, heller ist.

Den in §. 4 erwähnten Schliff parallel den Durchgängen, für welchen Spiegelbild und Nebelbild übereinanderfallen, habe ich nur am goldglänzenden Labrador ausgeführt. Auch hier ist das Nebelbild stark elliptisch und zwar steht die grofse Axe senkrecht zu der Geraden, nach welcher sich $M$ und $\delta$ schneiden, was an dem betreffenden Präparate dadurch gut erkannt wurde, dafs es aufser $\lambda$ auch noch eine nach $M$ angeschliffene Facette enthielt. Wahrscheinlich gruppiren sich die inneren Absonderungen nach Linien parallel $M | \delta$ und die elliptische Form des Nebelbildes in diesem, wie im vorher besprochenen Falle rührt von einer Beugung des Lichtes an diesen Linienzügen her. Im Adular scheinen nach den in §. 15 beigebrachten Bemerkungen die inneren Absonderungen in $\delta$

sehr gleichmäfsig, vielleicht netzartig angeordnet zu seyn, womit wohl der mehr rundliche Habitus des Nebelbildes, in *k* und *δ* gesehen, zusammenhängt.

Das von dem Labradorschliff nach *δ* reflectirte Licht giebt mit der Dichrolupe, unter dem Polarisationswinkel geprüft, in jedem Azimut ein farbloses nach der Einfallsebene polarisirtes Bild, und ein der Farbe des Krystallschillers entsprechendes, im fraglichen Falle gelbgrünes, rechtwinklich zum ersten polarisirten Bild. Das Licht verhält sich daher vollständig wie das von der quadratischen Basis des Magnesium-Platincyanürs zurückgeworfene. Umgekehrt kann man vermuthen, dafs der von Hrn. v. Haidinger [1]) so gründlich studirte Reflexschiller vieler Platinsalze und sonstiger Substanzen von inneren Absonderungen herrühre und es daher möglich seyn müsse, an Flächen, welche mäfsig gegen die natürlichen Flächen geneigt sind, den Schiller des Labradors hervorzurufen. Diese Vermuthung hat sich bestätigt; ich habe nämlich sowohl am Magnesium- als Barium-Platincyanür, freilich nur an sehr kleinen, nicht ganz homogenen Stückchen, ohne Anwendung von Wasser, welches sofort die Structur zerstört haben würde, mit einer feinen Schlichtfeile Flächen angearbeitet, die mit den Krystallflächen 10° bis 12° bildeten und diese mit dünnen Glasplättchen und weichem Terpentin als Zwischenmittel bedeckt. Auf einer kleinen Drehscheibe mit verticaler Axe zeigten die horizontal liegenden Flächen bei Beobachtung in verticaler Richtung den wandelbaren Schiller, überhaupt die in §. 3 beschriebenen Erscheinungen. Das Nebelbild selber konnte ich wegen der Kleinheit und unvollkommenen Bearbeitung der Flächen nicht sehen, zweifle aber nicht, dafs diefs bei gröfseren homogenen Stücken gelingen werde.

§. 28.

Das Studium der anderweitigen Wirkungen der inneren Durchgänge bietet wegen der Kleinheit der Präparate und der Seltenheit wirklich homogener reiner und einfacher Stücke

1) Diese Ann. Bd. 71 S. 321 u. f.





gröfsere Schwierigkeit als beim Adular, und ich werde mich deshalb hierüber kurz fassen.

Tritt das Licht durch *M* ein und fallen die inneren Durchgänge gegen den Beobachter ab, so kann man leicht eine Stellung des Krystalls finden, bei welcher die Fläche *T* oder ein benachbarter Bruch fast in derselben Farbe wie *M* schillert; nur scheint, wohl in Folge von Beugung des Lichtes an den Durchgängen, mehr blau zu der Farbe zu treten.

Hält man eine planparallele Platte nach *P* in die Sehweite gegen einen dunkeln Hintergrund und neigt dieselbe um das horizontal gehaltene *P* | *δ* als Axe, so erscheint dieselbe bei einer gewissen Stellung von blauem Lichte durchgossen; was auch die Farbe des Schillers auf *M* seyn mag: die Grundfarbe jenes Schimmers ist blau. Fällt hierbei *M* rechts ab, so geht der blaue Schein aus *P* ohngefähr 20° gegen diese Fläche nach oben; fällt *M* nach links ab, oder dreht man die Platte um 180° um eine verticale Axe, so bildet die Richtung des Schimmers gegen 60° mit *P*. Dieser blaue Schimmer rührt davon her, dafs das durchs vordere *P* eingetretene Licht nach Reflexion und Beugung an den inneren Durchgängen, welche mit *P* einen von 90° nicht zu stark abweichenden Winkel bilden, durch das dem Beobachter zugewendete *P* austritt. An einem Schliffe des goldglänzenden Labradors nach *P* sehe ich in beiden Stellungen gleichzeitig den Goldglanz auf dem schmalen oberen *M* neben dem schönsten Blau durch *P*. Das nach der Einfallsebene polarisirte, den Durchgängen parallel schwingende Licht, erweist sich in der Dichrolupe als das hellere.

Dasselbe blaue Licht sieht man durch Schliffe senkrecht zu *M* | *δ*, nur mit dem Unterschied, dafs der unter etwa 45° gegen die Platte nach oben ausfahrende Schimmer in den vier Stellungen, bei denen *δ* horizontal ist, in gleicher Weise erscheint, also gerade wie beim Adular durch *M* (§. 19). Zu einer Beobachtung der Beugungsbilder waren aber die Präparate zu klein und nicht rein genug.

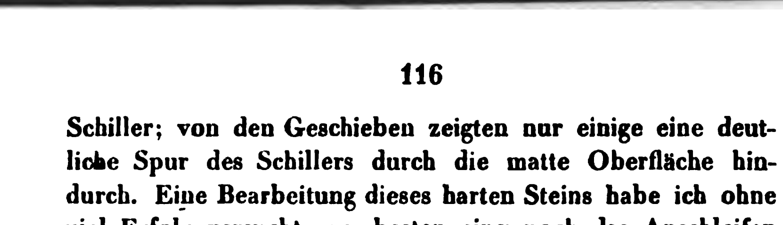
Sieht man durch planparallele Stücke nach *P* oder *M*

gegen eine Lichtflamme, so beobachtet man mehrfache theils gerade theils gebogene die Flamme durchsetzende Lichtstreifen, die mit eingesprengten Lamellen, Sprüngen oder sonstigen regelmäfsigen Absonderungen zusammenhängen; die meisten derselben sind rohe Beugungserscheinungen, wie man sie durch Ueberstreichen eines Glases mit dem Finger hervorrufen kann. Aufserdem aber sieht man in sehr homogenen Plättchen bläuliche Lichtstreifen, welche wahrscheinliich von Beugungen an den sehr feinen Absonderungen, die auch den Schiller bewirken, herrühren. Das mir zu Gebot gestandene Material war aber nicht hinreichend durchsichtig und homogen, um diese Erscheinungen genauer zu studiren.

§. 29.

Andere schillernde Krystalle als Adular und Labrador habe ich einer genaueren Prüfung nicht unterwerfen können und ich beschränke mich auf wenige Bemerkungen in Betreff des Schillerspaths von der Baste und des Chrysoberyll oder Cymophan. Das Schillern am Schillerspath halte ich für eine Beugungserscheinung. Betrachtet man das Spiegelbild einer Kerze auf einer schillernden Fläche, so sieht man einen das Kerzenbild durchsetzenden Lichtstreifen, der senkrecht steht auf einer schon mit einer starken Lupe erkennbaren Streifung der Krystallfläche. Da der Krystall, wenigstens in sehr dünnen Plättchen, durchsichtig ist, so ist nicht undenkbar, dafs auch gebeugtes Licht aus kleiner Tiefe kommt, welches dann die Bronzefarbe des Minerals annimmt. Legt man den Krystall bei Sonnenbeleuchtung auf eine horizontale Drehscheibe und stellt für ein senkrecht darüber stehendes Auge das Maximum des Bronzeschillers her, so kommt nach einer Drehung der Scheibe um 180° der Schiller in gleicher Weise zum Vorschein.

Vom Cymophan standen mir aus der hiesigen Sammlung mehrere kleine Stücke zu Gebote: ein kleines brillantartig geschliffenes Stück, eine kleine Linse und gegen zwanzig Geschiebe; die beiden ersten hatten ausgezeichneten





Schiller; von den Geschieben zeigten nur einige eine deutliche Spur des Schillers durch die matte Oberfläche hindurch. Eine Bearbeitung dieses harten Steins habe ich ohne viel Erfolg versucht; am besten ging noch das Anschleifen einer Fläche am rundlaufenden mit Smirgel bestreuten Schleifstein, aber diese rohen Schliffe an schwach schillernden Stücken gaben kein sicheres Resultat.

Im Ganzen erinnert der Schiller des Cymophans an den des Adulars; man findet Stellungen, in welchen der Krystall von schönem blauem Lichte durchgossen erscheint, während er sich in anderer Stellung vollkommen durchsichtig und wasserhell zeigt. Eigenthümlich ist, dafs das Maximum des Schillers gewöhnlich von einzelnen unregelmäfsigen Streifen und Wellen auszugehen scheint. Auch am zillerthaler Adular habe ich zuweilen an demselben Stücke Streifen bemerkt, deren Schiller intensiver war als an den benachbarten Partien, aber die Streifen waren geradlinig begränzt.

§. 30.

Das Resultat meiner Beobachtungen über den Schiller glaube ich im Folgenden kurz zusammenfassen zu können:

1. Der katoptrische Schiller des Adulars und Labradors weist auf einen äufserst feinen, die ganze Masse mehr oder weniger gleichförmig durchziehenden Blätterbruch $\delta$. Im Adular steht derselbe senkrecht zur Medianebene; im Labrador ist bei verschiedenen Individuen dieser das Schillern bewirkende Blätterbruch im Allgemeinen verschieden orientirt. Ein Zusammenhang zwischen dieser Orientirung und der Schillerfarbe scheint nicht zu bestehen; derselben Orientirung können verschiedene Schillerfarben entsprechen. Geringe Beimengungen fremder Stoffe, die verschiedenen Umstände der Krystallisation, der Abkühlung usw. können möglicherweise das Auftreten des einen oder anderen $\delta$ im Labrador bewirkt haben.

2. Die einzelnen Elemente des inneren Blätterbruchs scheinen von verschwindender Kleinheit zu seyn; ihre Existenz ist daher wohl kaum direct durchs Mikroskop nach-

zuweisen, wohl aber indirect durch die Integralwirkung der Elemente im Schiller und Nebelbild, sowie durch die Beugungserscheinungen, welche dieselben in Folge regelmäſsiger Gruppirung hervorbringen.

3. Auf Schliffen nach $\delta$ fällt Spiegelbild und Nebelbild zusammen und es besteht zwischen dem Reflexschiller gewisser Platinsalze und dem Schiller auf $\delta$ eine gewisse Analogie.

4. Die Farbe des katoptrischen Schillers ist höchst wahrscheinlich eine Farbe dünner Blättchen von jedenfalls niederer Ordnung und entspricht der Dicke der Absonderungen senkrecht zu $\delta$ gemessen. Im rein dioptrischen Schiller, bei welchem die Beugung an den inneren Durchgängen bedeutend mitwirkt, scheint allezeit Blau zu dominiren, wie wenn die Farben mit den gröſseren Wellenlängen gröſseren Störungen beim Durchgang unterworfen wären.

5. Nimmt man an, das polarisirte Licht schwinge senkrecht zur Polarisationsebene, so zeigt sich bei der Prüfung des katoptrischen, sowie des dioptrischen Schillers mit der Dichrolupe das constante Resultat, daſs das Licht des helleren Bildes parallel den inneren Durchgängen schwingt. Da es nun naturgemäſs scheint anzunehmen, die Vibrationen parallel den Durchgängen werden bei Durchsetzung des Krystalls weniger gestört, als die darauf senkrechten, so liegt vielleicht in der Gesammtheit der Schillererscheinungen eine Bestätignng der obigen Annahme über die Vibrationsrichtung des polarisirten Lichts.

Zum Schlusse möchte ich noch auf eine hieher gehörige wohl auch schon von Andern beobachtete Erscheinung aufmerksam machen: biegt man eine dünne Lamelle von durchsichtigem Leim, der Gelatine des Handels, um einen runden Bleistift, so zeigt sie den schönsten dioptrischen Schiller von bläulich weiſsem Lichte. Die Ursache dieses Schillerns ist offenbar Beugung des Lichts an den zahllosen, der Axe des Bleistifts parallelen inneren Absonderungen, welche in Folge von Zerrungen mit einer gewissen Regel-





mäfsigkeit entstanden sind. In der Dichrolupe zeigt sich auch hier das den Absonderungen parallel schwingende Licht als das hellere, während das andere Bild mehr Blau enthält. Auch in Lamellen von Horn läfst sich leicht durch Biegen über die Elasticitätsgränze der Schiller hervorrufen.

## VIII. *Untersuchungen über Augenmaafs und optische Täuschungen; von August Kundt.*

Zu den nachstehenden Untersuchungen gaben folgende zwei optische Täuschungen, die mir vor längerer Zeit gezeigt wurden, die Veranlassung:

1. Wenn man zwei parallele Linien durch andere sich kreuzende Linien schneidet (Fig. 1. Taf. III), so erscheinen die Parallelen zwischen den kreuzenden Geraden ausgebauscht, ihr normaler Abstand von einander scheint hier gröfser zu seyn, als an den andern Stellen.

2. Man schneide zwei parallele Linien durch eine dritte Gerade, lasse aber das Stück derselben, welches zwischen die Parallelen fallen würde, weg (Fig. 2 Taf. III). Sodann ziehe man in dem stumpfen Winkel, den eine der Parallelen und ein Stück der Schneidenden bilden, in geringem Abstande von der letzteren, eine ihr parallele Linie. Man wird sodann finden, dafs diese neue Linie als die Verlängerung des anderen Stückes der Schrägen erscheint. In Fig. 2 Taf. III hält man nicht die Linie *b* für die Fortsetzung von *a*, sondern *c*.

Dabei ist nur zu bemerken, dafs man ohne lange zu urtheilen und zu visiren, senkrecht auf die Zeichnung sehen mufs.

Als ich bereits eine Anzahl neuer Täuschungen construirt hatte, erfuhr ich, dafs die in Fig. 4 Taf. III. abgebildete Pseudoskopie bereits vom Hrn. Dr. Zöllner ge-

funden und von ihm schon eingehend behandelt sey [1]). Später, als meine Untersuchungen beendet waren, ergab sich, dafs schon vom Hrn. Dr. Hering [2]) der Versuch gemacht sey die optischen Täuschungen nach demselben Princip zu erklären, welches hier zu Grunde gelegt werden soll, dafs jedoch die Theorie des Dr. Hering nicht recht festen Fufs habe fassen können. Ich selbst bin von einer ganz andern Seite und ganz unabhängig von dem Letzteren sowohl zur Construction einer Anzahl von Täuschungen, als zur Erklärungsweise derselben gekommen, wie man sogleich sehen wird, wenn man jene Schrift mit den folgenden Untersuchungen vergleicht. Dieser Umstand allein, meine ich, könnte schon einigermafsen für die Richtigkeit der aufzustellenden Theorie beweisend seyn, aber auch ganz abgesehen davon, hoffe ich, dafs der Inhalt dieser Untersuchungen für sich allein sprechen wird. Sollte das Princip um das es sich handelt, sich in Zukunft auch nicht als ein ganz allgemeines Gesetz des Augenmafses erweisen, wie ich jedoch glaube, so erklärt es doch eine Reihe von Erscheinungen mit grofser Leichtigkeit, und dürfte sich bei dem weiteren Studium der optischen Täuschungen als sehr productiv erweisen. Ich gestehe, dafs die Untersuchungen wohl in keinem Punkte erschöpfend sind; wenn ich trotzdem eine Uebersicht der behandelten Fragen schon jetzt gebe, so geschieht diefs, weil eine gründliche Ausarbeitung noch lange Zeit erfordern wird, und die Thatsachen und Beobachtungen, die hier gegeben sind, mag man nun die ihnen zu Grunde gelegte Theorie gelten lassen oder nicht, auch an und für sich nicht ohne Interesse sind.

Die Erscheinungen um die es sich handelt, sind zweifacher Art, erstens eine Anzahl optischer Täuschungen und die bei ihnen sich zeigenden Eigenthümlichkeiten, sodann

1) Diese Ann. Bd. 110 S. 500.

2) Beiträge zur Physiologie. I. Heft. Vom Ortsinne der Netzhaut von Dr. Ewald Hering. — Hierin finden sich auch die beiden genannten Pseudoskopien. Dieselben sind also wohl vom Dr. Hering zuerst gefunden.

Beobachtungen über das Schätzen von Distanzen. Die Fig. 3, 4, 5, 6, 7 und 8 Taf. III zeigen Pseudoskopien, von denen man die Fig. 4 sogleich als die bekannte Zöllner'sche Täuschung erkennen wird. Fig. 3 Taf. III zeigt eine Umkehrung von Fig. 1 Taf. III; die Parallelen erscheinen hier innerhab der Parallelogramme zusammengedrückt. Fig. 5 zeigt dieselbe Erscheinung nur in etwas anderer Form. Die gerade Linie ist hier nach dem Mittelpunkt der concentrischen Kreise zu eingedrückt. In Fig. 6 Taf. III erscheint die schräge Schneidende gebrochen, wie ein ins Wasser gehaltener Stock. Der Theil der Linie, der durch die Parallelen geht, scheint steiler zu stehen als der andere Theil. Man kann diefs auch dahin abändern, das man, wie in Fig. 7 Taf. III, eine Linie hinzufügt. In Fig. 7 Taf. III, erscheint dann nicht *b* sondern *c* als die Fortsetzung von *a*. In Fig. 8 Taf. III scheint die schräge Linie gebrochen zu seyn, das mittlere Stück erscheint viel steiler als die beiden äufseren.

Diese Täuschungen sollen nun immer so vor dem Auge befindlich angenommen werden, dafs die in denselben vorkommenden Parallelen horizontal liegen. Die Täuschungen sollen der Kürze wegen mit I, II, III, IV, V, VI, VII und VIII bezeichnet werden, so dafs diese Reihenfolge mit der Reihe der Zahlen der Figurentafel correspondirt. Die Figuren zeigen die Täuschungen nur in kleinem Maafse, ich habe zu meinen Versuchen meist Zeichnungen von der Gröfse eines halben Bogens Schreibpapier benutzt.

Unter dem Einfallswinkel der Querlinien ist der Winkel verstanden, den diese Linien mit den horizontalen Parallelen machen. Untersucht man nun die Täuschungen, so findet man, dafs bis zu einem gewissen Grade die Intensität derselben mit der Abnahme des Einfallswinkels der Querlinien zunimmt, die Täuschung erscheint um so augenfälliger, je schräger die Querlinien liegen. Diefs gilt jedoch nur bis zu einer gewissen Gränze, denn der Hr. Dr. Zöllner hat nachgewiesen, dafs bei der Täuschung IV ein Maximum der Intensität bei etwa 30° stattfindet. Nimmt der

Einfallswinkel noch mehr ab, so nimmt auch die Intensität ab. Da diefs für IV gilt, so wird es auch für die andern Täuschungen gelten.

Als zweite Eigenthümlichkeit ergiebt sich, dafs die Intensität der Täuschung zunimmt, wenn man bei I, III, IV die Anzahl der Querstriche, bei V der Kreise, bei VI und VII der Parallelen vermehrt.

Sehr wichtig ist endlich Folgendes:

Wenn man die Täuschung IV in der Höhe der Augen an die Wand hängt, und sich dann in senkrechter Richtung von ihr enfernt, so wird man, wenn man eine ziemlich grofse Zeichnung genommen, anfangs die Convergenz der Parallelen, die jene Täuschung zeigt, wenig bemerken, bald wird aber ein Maximum der Convergenz eintreten; entfernt man sich dann weiter, so wird die Täuschung immer mehr abnehmen und man wird schliefslich auf einen Punkt kommen, wo die Parallelen wieder wirklich parallel erscheinen. Es ist nur Rücksicht darauf zu nehmen, dafs man die Zeichnung auch noch deutlich sehe. Ebenso verschwinden die andern Täuschungen, oder werden wenigstens schwächer, mit Ausnahme von VIII. Entfernt man sich in der angegebenen Weise von VIII, so erscheint die schräge Schneidende immer stärker gebrochen, das mittlere kleine Stück stellt sich immer steiler, und zwar in überraschend starkem Maafse.

Sobald die Eigenschaft des Verschwindens der Täuschungen bemerkt war, wurde auch sogleich untersucht, ob die Entfernung, bei der diefs einträte, für verschiedene Zeichnungen einer bestimmten Täuschung constant sey. Eine später angegebene Beobachtungsreihe solcher »*Verschwindungsentfernungen,*« wie ich sie nennen möchte, wird zeigen, dafs eine solche Constanz vorhanden ist, und erkennen lassen, von welchen Umständen die Gröfse der Entfernung abhängt.

Dann zeigte sich bei fast allen Täuschungen, dafs, wenn man dieselben um eine verticale Axe dreht, die Pseudoskopie verschwindet, dagegen stärker hervortritt, wenn

man um eine horizontale Axe dreht. Zeichnete man die Figuren statt auf ein Blatt Papier auf eine Kugel, oder projicirte sie durch eine Linse von einem Blatt Papier auf eine mattgeschliffene Glaskugel, so blieben die Täuschungen, so lange nicht die Perspective wesentlich Einflufs übte, oder die Linse kein gutes Bild mehr gab, vollkommen sichtbar. Wandte man in I, III und IV statt der geraden Parallelen concentrische Kreise an, so wurden die Täuschungen unter sonst gleichen Umständen um so weniger sichtbar, je kleiner der Halbmesser der Kreise wurde. Endlich wurden folgende Versuche angestellt. Bei I, III, IV, VI und VIII wurden die horizontalen Parallelen auf ein Blatt und, was dann noch an der Zeichnung fehlte, auf ein anderes gezeichnet. Sodann wurden beide Blätter so ins Stereoskop gebracht, dafs sie zusammen die entsprechende ganze Zeichnung gaben. Das Resultat war, eine Täuschung blieb ganz aus bei VI und VIII, während bei den andern Zeichnungen die Verzerrung zuweilen in geringem Maafse sichtbar war. Hieran schliefsen sich noch folgende Erscheinungen:

Zeichnet man einen Kreis und daneben eine Gerade, die genau die Länge des Durchmessers hat, so wird man stets die nebengezeichnete Linie für gröfser als den Durchmesser des Kreises halten. Schlägt man über einer Linie einen Halbkreis, so erscheint dieser stets zu flach; wie es denn bekannt ist, dafs die Architecten alle ihre Bögen »überhöhen,« wie sie es nennen, um diesen Fehler des Augenmaafses zu beseitigen. Noch besser sieht man die Verflachung eines Halbkreises wenn man in denselben einen concentrischen Kreisabschnitt zeichnet.

Einige andere hierher gehörige Erscheinungen sollen, da ihre Erklärung doch nicht versucht werden wird, am Schlusse angegeben werden.

Die oben erwähnten Beobachtungen über Distanzschätzen haben zwei Resultate gegeben, nämlich:

1) Man ist mit einem Auge nicht im Stande eine Distanz zu halbiren; man wird einen constanten Fehler nach

der einen Seite hin begeben, und beobachtet man mit dem andern Auge, denselben Fehler nach der entgegengesetzten Seite.

2) Zieht man eine begränzte gerade Linie und marquirt die Enden derselben durch etwas dickere Punkte, setzt dann in die eine Hälfte der Linie noch einige marquirte Punkte und versucht nun die ganze Strecke nach dem Augenmaafs zu halbiren, so wird man stets die Hälfte in der sich jene Punkte befinden zu klein machen. Es ist nicht nöthig, dafs die Linie auf der sich die Punkte befinden wirklich gezogen sey, die Punkte müssen nur in einer Geraden liegen, die selbst vorhanden seyn kann oder nicht. Diese Thatsache ist durch über 1000 Versuche, die von den verschiedensten Beobachtern angestellt wurden, erprobt.

Es soll nun im folgenden der Versuch gemacht werden, den gröfsten Theil der so eben angegebenen Erscheinungen aus einem Gesichtspunkt zu betrachten und einheitlich zu erklären. Manches wird freilich für jetzt noch unerklärt bleiben, doch ist zu erwarten, dafs das hier gegebene Princip, mit Hülfe weiterer Beobachtungen und Ausarbeitung, auch die hier nicht erklärten Erscheinungen umfassen wird. Es soll zuerst das Einfachste, die Distanzen, betrachtet werden.

### I. Das Schätzen der Distanzen.

Um möglichst kurz seyn zu können, sind folgende Beschränkungen und Erklärungen einzuführen. Es wird angenommen die Netzhaut sey eine Kugel, was sie in Wirklichkeit nicht ist. Der erste und zweite Knotenpunkt des Auges sind in einem einzigen zusammengezogen, und wenn nicht speciell etwas Anderes bemerkt ist, so wird angenommen, dieser Knotenpunkt liege im Mittelpunkt der Netzhaut. Endlich ist nach Helmholtz der Punkt mit dem ein Auge fixirt, nicht der Pol der Netzhaut; es wird trotzdem angenommen, dafs das Bild eines fixirten Punktes in die optische Axe des Auges falle. Diese Beschränkungen ändern an den Betrachtungen im Wesentlichen Nichts, sie

vereinfachen dieselben aber bedeutend. Wo sie das Resultat beeinflussen, sind sie, so weit es geht, berücksichtigt. Endlich soll noch folgende Bezeichnungsweise eingeführt werden.

Die Entfernung zweier Punkte von einander, die durch eine Linie verbunden seyn können oder nicht, soll eine *einfache Distanz* oder ein *Distanzelement* heifsen. Das Criterium einer einfachen Distanz oder eines Distanzelementes ist, dafs sich in derselben keine andern marquirten Punkte befinden als die Enden. Liegen mehrere Punkte in einer Geraden, so wird die ganze Gerade als aus so vielen Distanzelementen zusammengesetzt betrachtet, als sie durch die Punkte angegebene Theile enthält. Eine Distanz im Allgemeinen ist also immer als die Summe, oder wenn die Elemente unendlich klein werden, als das Integral aller in ihr enthaltenen Distanzelemente zu betrachten.

Ist nun (Fig. 9 Taf. III) $NN'$ die Netzhaut, $K$ der Knotenpunkt des Auges; $AB = D$ und $BC = D'$ zwei einfache Distanzen, $r$ der Radius der Netzhaut, und $\omega$ und $\omega'$ die Gesichtswinkel der Linien, so ist

$$D : D' = r \operatorname{tg} \omega : r \operatorname{tg} \omega'.$$

Will also das Auge das Verhältnifs der beiden Distanzen richtig schätzen, so müfste es dieselben nach den Tangenten der Bilder derselben auf der Netzhaut schätzen. Würde das Verhältnifs von $D$ und $D'$ nach dem Verhältnifs ihrer wirklichen Bilder, also nach den Bögen $a'b$ und $bc'$ beurtheilt, so würde ein Fehler begangen. Da alle Schätzung auf Vergleichung beruht, so ist also allgemein zu sagen, dafs eine einfache Distanz, die senkrecht zur Sehaxe ist, nur richtig nach der Tangente ihres Gesichtswinkels geschätzt werde. Man hat bisher angenommen, das Mafsgebende beim Beurtheilen einer Länge sey der Winkel unter dem dieselbe erscheint, oder vielmehr der Bogen den sie auf der Netzhaut bildet. Wäre das der Fall, so würden, wenn $D$ eine einfache Distanz und $\varDelta$ die geschätzte Länge derselben, sich diese beiden Gröfsen verhalten wie

die Tangente zum Bogen des zugehörigen Gesichtswinkels, so dafs man hätte,

$$\Delta = D \frac{\text{arc}\,\omega}{\text{tg}\,\omega}.$$

Das Princip, das den sämmtlichen Erscheinungen zu Grunde gelegt wird, besteht nun einfach darin, dafs man einen Schritt weiter geht und sagt:

*Jede einfache Distanz wird vom Auge nicht nach der Tangente des Gesichtswinkels geschätzt, wie es ohne einen Fehler zu begehen geschehen müfste, noch nach dem Bogen auf der Netzhaut, wie man bisher angenommen, sondern nach der Sehne die dem Gesichtswinkel der Distanz im Auge zugehört.*

Es ist daher in obiger Formel der Bogen durch die Sehne zu ersetzen, wenn man die geschätzte Länge einer einfachen Distanz erhalten will. Es ist

$$\Delta = D \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\text{tg}\,\omega}$$

und man begeht mithin beim Schätzen den Fehler

$$F = D - \Delta = D \left(1 - \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\text{tg}\,\omega}\right).$$

Jede einfache Distanz wird hiernach zu klein geschätzt. Liegt das Distanzelement, um das es sich handelt, nicht senkrecht zur optischen Axe des Auges, so kann es so liegen, dafs die sogenannte Bildaxe, eine vom Knotenpunkt nach einem der Endpunkte gezogene Linie senkrecht zu der Distanz ist. Dann bleibt die ganze Betrachtung wie sie eben angestellt wurde. Liegt aber das Distanzelement wie in Fig. 10 Taf. III, wo $NN'$ die Netzhaut und $DD'$ eine einfache Distanz ist, so ziehe man $DD''$ senkrecht zu $dKD$, dann wäre die geschätzte Länge von $DD''$,

$$\Delta'' = DD' \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\text{tg}\,\omega}.$$

Betrachtet man aber $DD'$ mit einem Auge, oder ist das körperliche Sehen möglichst gering, d. h. wird man sich

der Richtung der Linie $DD'$ nicht bewufst, und nur unter dieser Voraussetzung gelten diese Untersuchungen, so wird man $DD'$ in eine zu $KD$ senkrechte Ebene versetzen, es wird also fürs Auge mit $DD''$ zusammenfallen. Ist nun $\Delta'' = D\alpha$ und zieht man $K\alpha\beta$, so wird die geschätzte Gröfse von $DD'$ gleich $D\beta$ seyn. Da aber $\alpha\beta$ sehr nahe parallel zu $D'D''$ ist, so wird man setzen können

$$D\alpha : D\beta = DD'' : DD'$$

und bezeichnet man $DD'$ mit $D'$, und $D\beta$ mit $\Delta'$, so ist

$$\Delta' = \frac{D\alpha . DD'}{DD''} = D' \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\operatorname{tg} \omega}.$$

Welche Lage mithin auch eine einfache Distanz zum Auge haben mag, es gilt immer für die geschätzte Länge derselben die obige Fundamentalformel. —

Als zweiter Grundsatz ist sodann folgender aufzustellen:

*Besteht eine Distanz aus mehreren Distanzelementen, so ist die geschätzte Gröfse der Gesammtdistanz gleich der Summe der geschätzten Gröfsen der Distanzelemente.*

Aus diesen beiden Sätzen, demjenigen von der Schätzung eines Distanzelementes und dem von der Zusammensetzung der Distanzelemente, ergiebt sich sogleich die Erklärung der angegebenen Halbirungsversuche. Es seyen (Fig. 11 Taf. III) $A$, $B$, $C$, $D$ und $E$ marquirte Punkt in einer Geraden und es sey $AD = DE$. $NN'$ sey die Netzhaut und $K$ der Knotenpunkt des Auges. Dann setze man noch

$$AB = D$$
$$BC = D'$$
$$CD = D''$$
$$DE = D'''$$

und bezeichne die zugehörigen Gesichtwinkel mit $\omega$, so ist die geschätzte Gröfse vom $DE$ gleich $D''' \frac{2 \sin \frac{\omega'''}{2}}{\operatorname{tg} \omega'''}$ und die geschätzte Gröfse von $AD$ gleich

$$D \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\operatorname{tg} \omega} + D' \frac{2 \sin \frac{\omega'}{2}}{\operatorname{tg} \omega'} + D'' \frac{2 \sin \frac{\omega''}{2}}{\operatorname{tg} \omega''}.$$

Nun ist aber, wenn die letzte Summe durch

$$\Sigma D \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\operatorname{tg} \omega}$$

bezeichnet wird,

$$\Sigma D \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\operatorname{tg} \omega} > D'' \frac{2 \sin \frac{\omega'''}{2}}{\operatorname{tg} \omega'''}.$$

Das Auge wird also die Gröfsen $AD$ und $DE$ nicht für gleich halten, es wird also $D$ nicht in der Mitte von $A$ und $E$ zu liegen scheinen. Ist daher $D$ variabel und soll nach dem Augenmaafs in die Mitte von $A$ und $E$ gestellt werden, so wird man $D$ immer zu weit nach $A$ rücken und zwar um die Gröfse

$$\Sigma D \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\operatorname{tg} \omega} - D'' \frac{2 \sin \frac{\omega'''}{2}}{\operatorname{tg} \omega}.$$

Alle Beobachtungen zeigen, dafs man $D$ wirklich zu weit nach $A$ beim Halbiren rückt, wie die folgenden Tabellen beweisen. Will man die absolute Gröfse des Fehlers kennen, so mufs man dazu nur die Entfernung $DK$ und die Gröfsen $AE$, $AB$, $BC$ kennen. Setzt man dann jene Differenz gleich Null, so kann man eine Gleichung für $CD$ oder $DE$ oder, was bequemer wäre, für $\omega''$ oder $\omega'''$ erhalten.

Es ist aber einfacher indirect zu verfahren, indem man annimmt, $D$ stände wirklich in der Mitte von $A$ und $E$ und nun das Stück berechnet, um das man $AD$ gröfser schätzen würde als $DE$. Es ist klar, dafs wenn man die beiden gleichen Distanzen um das Stück ungleich sieht, man sie um ebenso viel ungleich machen mufs, um sie gleich zu sehen. Man berechne also die scheinbaren Gröfsen der sämmtlichen Distanzelemente, und ziehe von der Summe derjenigen, die auf der einen Hälfte liegen, die scheinbare Gröfse der andern Hälfte ab. Diese Differenz ist der Fehler, den man beim Halbiren begehen mufs. Die Rechnung ist wirklich für einige Versuchsreihen gemacht, und hat eine genügende Uebereinstimmung des theoretisch





gefundenen Fehlers mit dem durch die Beobachtung selbst gegebenen erwiesen.

Die Halbirungsversuche wurden mit einem Instrument angestellt, das einem Stangenzirkel ähnlich ist. Auf einem viereckigen Eisenstabe befanden sich verschiebbar eine Anzahl Messingklötze, die auf der einen Seite Schrauben trugen, um sie festzustellen, auf der andern etwa $30^{mm}$ lange Stahlspitzen. Die geschwärzten Enden dieser Spitzen dienten als marquirte Punkte, und durch die folgende Vorrichtung war dafür gesorgt, dafs man nur die Enden der Spitzen sah und dafs das Auge eine constante Entfernung von denselben hatte. Fig. 12 Taf. III zeigt die Vorrichtung zum Beobachten. Ein länglicher Klotz *aa* war mit weifsem Papier überzogen und auf einem Tisch befestigt. An den Seiten trug derselbe zwei drehbare Arme *bb*, die wieder jeder einen Arm *c* trugen. Zwichen diesen letzteren befand sich drehbar ein mit Papier überzogenes Brett *dd*, welches schräg gegen den Klotz gestellt wurde, so dafs für das oben befindliche Auge kein Zwischenraum zwischen Brett und Klotz sichtbar war, und beide nur eine weifse Fläche zu bilden schienen. Das Brett war aber so viel höher und so schräg gestellt, dafs die Zirkelspitzen hindurchgeschoben werden konnten und die Hände den Zirkel bequem unter dem Brett hielten. Am Ende des Tisches befanden sich zwei Stender *ee*, die oben zwischen sich ein Brett trugen, welches drehbar war und beim Beobachten senkrecht zu der Richtung von der Mitte desselben zu der Kante auf der die Zirkelspitzen lagen, gestellt wurde. Das Brett hatte Einschnitte für die Augen und die Nase und beim Beobachten wurde die Stirn fest gegen dasselbe gelegt. Diese Einrichtung bietet den Vorzug, dafs die Spitzen immer in derselben Lage und Entfernung zum Auge liegen, und dafs Alles Andere verdeckt ist, so dafs man nur die Spitzen sieht. Durch Verschieben des Klotzes oder Herauf- und Herabrücken der Ständer kann die Entfernung vom Auge beliebig geändert werden. Wurde mit einem Auge beobachtet, so befand sich vor der andern Augen-

öffnung an der untern Seite des Brettes ein kleines Schiebebrettchen. Es wurden gewöhnlich fünf Spitzen angewandt, und von diesen vier wie in Fig. 11 die Punkte *A*, *B*, *C* und *E* festgestellt und nun nach dem Augenmaafs die Spitze *D* in die Mitte von *A* und *E* gebracht. Sodann wurde *CD* oder *DE* abgelesen. Es wurde mit den einzelnen Augen beobachtet und mit beiden zugleich. Im erstern Falle lag die Spitze *D* in der optischen Axe des beobachtenden Auges, im zweiten lag *D* zwischen beiden Augen. Bei den Beobachtungen findet man noch über den Zahlen die Buchstaben *L* und *R*. Diese zeigen an, dafs die Hälfte in der die marquirten Punkte sich befanden links oder rechts lag.

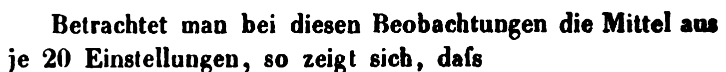
Die einfachen Distanzen zwischen den Spitzen sollen wie in Fig. 11 Taf. III mit *AB*, *BC*, *CD* und *DE* bezeichnet werden. *M* bedeutet das Mittel aus je 20 Beobachtungen, *Fm* den mittleren Fehler jeder Beobachtung und *Fw* den wahrscheinlichen Fehler des Mittels aus 20 Beobachtungen.

In der folgenden Versuchsreihe sind die ersten 120 Beobtungen von einem ziemlich geübten Beobachter, die zweiten 120 Einstellungen von mir selbst gemacht. Es war bei denselben die Gesammtdistanz = 241,9$^{mm}$; ferner betrug *AB* 20,2$^{mm}$ und *BC* 40,2$^{mm}$. Die Entfernung der Spitze *D* vom Knotenpunkt des Auges war gleich 338$^{mm}$.

| | Linkes Auge. | | | | Rechtes Auge. | | | | Beide Augen. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L. | | R. | | L. | | R. | | L. | | R. | |
| | 58,9 | 60,4 | 57,9 | 58,4 | 57,1 | 58,4 | 60,5 | [1] | 56,8 | 55,6 | 58,4 | 58,5 |
| | 56,1 | 60,0 | 56,0 | 55,5 | 54,1 | 56,0 | 56,4 | | 57,2 | 60,6 | 57,7 | 61,5 |
| | 58,1 | 59,6 | 57,6 | 56,5 | 58,4 | 57,9 | 59,9 | | 56,0 | 57,0 | 59,4 | 57,1 |
| | 61,1 | 58,5 | 55,7 | 54,6 | 61,4 | 54,6 | 59,4 | | 56,0 | 58,6 | 57,3 | 60,4 |
| | 59,3 | 61,1 | 57,0 | 57,4 | 54,9 | 56,7 | 59,0 | | 55,5 | 55,9 | 57,6 | 59,9 |
| | 59,9 | 59,0 | 57,4 | 56,4 | 56,4 | 57,1 | 58,9 | | 56,2 | 56,5 | 58,0 | 58,8 |
| | 57,2 | 58,9 | 55,6 | 58,0 | 55,6 | 57,5 | 57,5 | | 56,2 | 57,0 | 58,1 | 60,8 |
| | 61,2 | 59,0 | 56,7 | 54,5 | 57,8 | 59,1 | 59,5 | | 56,2 | 57,0 | 58,6 | 58,5 |
| | 61,2 | 57,0 | 56,4 | 55,0 | 57,9 | 56,1 | 59,2 | | 55,8 | 54,4 | 58,8 | 59,3 |
| | 62,1 | 57,5 | 58,9 | 55,2 | 60,0 | 55,1 | 58,9 | | 56,4 | 55,0 | 56,4 | 59,6 |
| *M* | 59,31 | | 56,62 | | 57,13 | | 58,92 | | 56,50 | | 58,74 | |
| *Fm* | 1,53 | | 1,15 | | 1,81 | | 1,02 | | 1,26 | | 1,25 | |
| *Fw* | 0,22 | | 0,16 | | 0,26 | | 0,15 | | 0,18 | | 0,18 | |

1) Bei den zweiten 10 Beobachtungen dieser Columne hatte wahrscheinlich der Zirkel immer falsch gelegen; sie sind deshalb verworfen.

| | Linkes Auge. | | | | Rechtes Auge. | | | | Beide Augen. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L. | | R. | | L. | | R. | | L. | | R. | |
| | 60,5 | 59,0 | 50,9 | 51,3 | 59,1 | 53,6 | 59,4 | 58,9 | 57,4 | 59,7 | 57,1 | 55,0 |
| | 60,9 | 60,6 | 54,8 | 55,9 | 54,9 | 55,6 | 56,9 | 57,8 | 56,3 | 59,7 | 53,0 | 53,9 |
| | 59,4 | 60,1 | 53,5 | 52,0 | 56,1 | 51,4 | 61,2 | 59,6 | 58,5 | 56,7 | 56,1 | 51,4 |
| | 59,2 | 59,6 | 51,9 | 54,1 | 58,0 | 57,1 | 58,0 | 59,2 | 58,0 | 59,6 | 53,3 | 52,5 |
| | 58,0 | 56,4 | 53,2 | 55,0 | 56,5 | 55,1 | 55,5 | 57,3 | 58,4 | 57,1 | 54,3 | 51,3 |
| | 60,0 | 59,2 | 50,9 | 54,4 | 54,5 | 50,8 | 61,2 | 58,3 | 59,1 | 60,4 | 53,7 | 55,0 |
| | 61,6 | 58,7 | 52,8 | 53,0 | 56,9 | 54,5 | 58,3 | 63,9 | 58,6 | 58,4 | 56,2 | 52,0 |
| | 58,5 | 59,0 | 51,6 | 53,0 | 54,2 | 54,5 | 59,5 | 58,1 | 61,6 | 60,7 | 54,5 | 55,6 |
| | 58,4 | 59,6 | 55,8 | 52,4 | 55,8 | 56,3 | 58,2 | 59,2 | 57,0 | 60,7 | 55,0 | 54,1 |
| | 61,4 | 58,5 | 52,6 | 55,6 | 58,0 | 54,0 | 58,5 | 56,9 | 57,1 | 58,5 | 53,5 | 53,0 |
| *M* | 59,43 | | 53,33 | | 55,35 | | 58,80 | | 58,68 | | 54,03 | |
| *Fm* | 1,21 | | 1,57 | | 1,94 | | 1,77 | | 1,44 | | 1,41 | |
| *Fw* | 0,17 | | 0,22 | | 0,28 | | 0,25 | | 0,21 | | 0,20 | |





Betrachtet man bei diesen Beobachtungen die Mittel aus je 20 Einstellungen, so zeigt sich, dafs

1) bei beiden Beobachtern beim Einstellen mit einem Auge das Mittel für das linke Auge bei der linken Lage des Zirkels gröfser ist als bei der rechten Lage. Beim rechten Auge findet das Umgekehrte statt. Beim Beobachten mit beiden Augen gehen die Einstellungen des ersten Beobachters nach denjenigen seines rechten, die meinigen nach den meines linken Auges.

2) Erkennt man deutlich eine persönliche Differenz. Die Mittel bei der linken und rechten Lage des Zirkels weichen bei meinen Beobachtungen weiter von einander ab, als bei den ersten 120 Einstellungen.

Eine solche persönliche Differenz kann nicht überraschen, merkwürdig ist aber der Unterschied in der rechten und linken Lage. Derselbe bedarf einer genauern Untersuchung. Nimmt man aber fürs Erste ohne ihn zu berücksichtigen, das Mittel für die einzelnen Augen der Beobachter, so hat man

| | Linkes Auge. | Rechtes Auge. | Beide Augen. |
|---|---|---|---|
| 1) | 57,97 | 58,03 | 57,62 |
| 2) | 56,41 | 57,07 | 56,35 |

Man sieht, diese Zahlen sind abgesehen von dem Unterschied zwischen den Beobachtern sehr nahe constant. Das Gesammtmittel beträgt für den ersten Beobachter 57,87, für den zweiten 56,61. Dadurch ist jedenfalls nachgewiesen, dafs $D$ wirklich zu nahe an $A$ gestellt worden, und zwar im Mittel aus 240 Beobachtungen, um

$$3{,}31^{\mathrm{mm}}$$

denn $CD$ beträgt, wenn $D$ in der Mitte liegt $60{,}55^{\mathrm{mm}}$.

Die persönliche Differenz der beiden Beobachter beim Beobachten mit einem Auge liegt darin, dafs der erste Beobachter stark fernsichtig ist, während ich auf dem einen Auge ziemlich normal, auf dem andern aber kurzsichtig bin.

Die Einstellungen mit beiden Augen gehen deshalb beim ersten Beobachter nach den seines rechten, bei mir nach *den* meines linken Auges, weil ich gewohnt bin mit dem

linken zu schätzen, während jener dazu hauptsächlich das rechte benutzt. Besäfse Jemand zwei ganz gleiche Augen und benutzte sie gleichmäfsig, so müfste der Unterschied zwischen L und R beim Beobachten mit beiden Augen wegfallen.

Eine zweite Versuchsreihe zweier Beobachter ist folgende:

$$AE = 241{,}9^{mm}$$
$$AB = 22{,}6$$
$$BC = 65{,}5$$

Die Entfernung vom Knotenpunkt betrug 328mm. $CD$ wurde abgelesen. Jede der gegebenen Zahlen ist ein Mittel aus 10 Beobachtungen, so dafs im Ganzen 80 Einstellungen gemaçht sind, und zwar von jedem Beobachter 40 mit beiden Augen.

Man sieht aus den Zahlen, dafs der erste Beobachter hauptsächlich mit dem linken, der zweite mit dem rechten Auge geschätzt hat.

| | *L.* | *R.* |
|---|---|---|
| I. | 29,24<br>29,45 | 28,76<br>26,38 |
| II. | 27,33<br>26,82 | 31,13<br>28,53 |

Das Gesammtmittel ist = 28,45. $CD$ hätte gleich 32,85 seyn müssen, also ist der Fehler oder die Gröfse um die $D$ zu nahe an $A$ gerückt wurde

$$= 4{,}40^{mm}.$$

Folgende dritte Beobachtungsreihe habe ich selbst gemacht. Es war $AE = 100$, $AB = 25$, $BC = 10{,}5$. Die Entfernung vom Knotenpunkt betrug 226mm. $AD$ wurde abgelesen.

| Linkes Auge. | | Rechtes Auge. | |
|---|---|---|---|
| L. | R. | L. | R. |
| 49,0 | 48,4 | 49,2 | 48,4 |
| 48,9 | 48,0 | 48,6 | 49,2 |
| 49.1 | 47,6 | 50,1 | 48,5 |
| 48,8 | 47,7 | 49,3 | 49,3 |
| 48,6 | 47,0 | 48,7 | 48,0 |
| 48,5 | 48,0 | 48,5 | 49,0 |
| 48,6 | 48,1 | 47,7 | 48,9 |
| 47,9 | 47,6 | 47,7 | 49,2 |
| 48,6 | 48,0 | 48,5 | 50,3 |
| 48,4 | 48,4 | 47,6 | 48,9 |
| 48,64 | 47,88 | 48,59 | 48,97 |

Das Gesammtmittel ist 48,52, also der begangene Fehler, da $AD = 50,0$ seyn müfste, im Mittel aus 40 Beobachtungen

$$= 1,48^{mm}.$$

Auch in dieser Tabelle zeigt sich der Unterschied in der linken und rechten Lage des Zirkels. Es ist nun zwar zu vermuthen, dafs jedes Gesammtmittel frei von dem Einflufs der Lage ist, doch scheint es durchaus nöthig, über die Natur dieses Einflufses Aufschlufs zu erhalten. Zu dem Zweck wurden folgende Versuche gemacht. Alle Spitzen bis auf drei wurden von der Eisenstange entfernt, von diesen wurden die beiden äufseren festgeschroben, und nun ebenso wie früher mit der dritten Spitze halbirt. Die nachstehende Versuchsreihe wurde von mir unter denselben Umständen wie die zuletzt angegebene gemacht. Die Gesammtdistanz betrug ebenfalls 100$^{mm}$ und die Entfernung vom Knotenpunkt 226$^{mm}$.

Abgelesen wurde jetzt immer die linke Seite des Zirkels.

| | Linkes Auge. | | | | Rechtes Auge. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Es wurde immer links abgelesen. | | | | | | | |
| | 50,4 | 49,1 | 50,9 | 51,0 | 50,1 | 49,6 | 50,5 | 50,6 |
| | 50,3 | 49,4 | 50,9 | 50,6 | 50,6 | 50,7 | 49,8 | 50,3 |
| | 50,8 | 50,4 | 50,6 | 50,6 | 50,4 | 49,1 | 50,9 | 50,1 |
| | 50,5 | 50,9 | 51,4 | 50,1 | 48,8 | 49,1 | 50,5 | 49,1 |
| | 51,4 | 50,7 | 50,2 | 51,6 | 50,1 | 48,9 | 49,6 | 49,6 |
| | 50,4 | 50,8 | 50,0 | 49,7 | 49,8 | 50,5 | 49,5 | 48,7 |
| | 49,0 | 50,5 | 50,2 | 50,3 | 50,3 | 49,0 | 49,9 | 49,4 |
| | 49,9 | 50,9 | 50,0 | 50,1 | 50,4 | 50,5 | 48,6 | 50,4 |
| | 50,4 | 50,6 | 49,9 | 51,0 | 49,8 | 50,6 | 48,5 | 50,8 |
| | 49,9 | 50,0 | 49,9 | 50,0 | 48,4 | 50,5 | | 49,2 |
| | 50,30 | 50,33 | 50,30 | 50,40 | 49,87 | 49,85 | 49,84 | 49,82 |
| *M* | 50,33 | | | | 49,845 | | | |
| *Fm* | 0,50 | | | | 0,66 | | | |
| *Fw* | 0,05 | | | | 0,07 | | | |

Die Mitte hat somit für das linke Auge scheinbar bei 50,33, für das rechte bei 49,845 gelegen, so daſs die linke Seite vom linken Auge, wenn die Spitze genau in der Mitte liegt, um 0,33 zu klein, vom rechten dagegen um 0,455 zu groſs geschätzt wird.

Um also in den vorigen Versuchen den Fehler zu erhalten, der bloſs durch die eingeschobenen Spitzen hervorgebracht ist, müſste man die dort erhaltenen Zahlen nicht von der wahren Mitte abziehen, sondern von den auf die eben angegebene Weise durchs Augenmaaſs selbst erhaltenen Mitten. Thut man dieſs für die letzte Beobachtungsreihe, für die soeben die scheinbaren Mitten bestimmt sind so erhält man statt der Fehler die von der wahren Mitte an gerechnet sind, nämlich

| Linkes Auge. | | Rechtes Auge. | |
|---|---|---|---|
| *L* | *R* | *L* | *R* |
| 1,36 | 2,12 | 1,41 | 1,03 |

jetzt die entsprechenden Fehler

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1,69 | 1,79 | 1,26 | 1,19. |

Diese Zahlen sind für jedes Auge constant [1]), und das zeigt, dafs jene Abweichung in der Lage $L$ und $R$ lediglich davon herrührt, dafs man überhaupt eine Linie, auch ohne dafs sie marquirte Punkte enthält, nicht zu halbiren vermag. Man müfste also für jede der obigen Versuchsreihen auch eine Versuchsreihe haben, die den scheinbaren Halbirungspunkt giebt. Man sieht aber leicht, dafs das Gesammtmittel frei von dem Einflufs der Lage seyn wird.

Als experimenteller Beweis diene dafür, dafs wenn man in der letzten Beobachtungsreihe das Mittel der Fehler von der wahren, und das Mittel der Abweichungen von den scheinbaren Hälften nimmt, diese genau gleich sind. Die beiden Mittel sind genau 1,48$^{mm}$.

Der begangene Fehler rührt bei den obigen Versuchen also nur von dem Einflufs der eingeschobenen Spitzen $B$ und $C$ her.

Nach der gegebenen Formel

$$F = \Sigma D \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\operatorname{tg} \omega} - D \frac{2 \sin \frac{\omega'''}{2}}{\operatorname{tg} \omega'''}$$

ist es nun leicht für jede Beobachtungsreihe den Fehler aus den gegebenen Distanzen und der Entfernung vom Auge theoretisch zu bestimmen.

Für unsere Versuche wurde gefunden:

| Versuchsreihe | F | |
|---|---|---|
| | Beobachtet. | Berechnet. |
| I. | 3,31 | 4,47 |
| II. | 4,40 | 4,62 |
| III. | 1,48 | 0,84 |

Es ist diefs eine Uebereinstimmung der Theorie und Beobachtung, die vollständig genügt, wenn man die beschränkte Zahl der Beobachtungen und der Beobachter bedenkt. In der ersten Versuchsreihe weichen die Mittel der beiden Beobachter um 1,26$^{mm}$ von einander ab, also wei-

1) Es macht sich die Verschiedenheit meiner Augen wieder sehr bemerklich.

ter als hier der berechnete vom beobachteten Werth. Sodann sind die Annahmen, die bei der Berechnung über die Form des Auges gemacht sind, nicht genau und müfsten durch schärfere ersetzt werden. Ich hielt das aber bei der vorliegenden Zahl von Beobachtungen für unnöthig, und es sollte überall nur die Möglichkeit einer Berechnung des Fehlers und einer Uebereinstimmung der Theorie und der Versuche, selbst in den numerischen Werthen, gezeigt werden.

Es bleibt nun noch der Fehler bei den Halbirungsversuchen ohne eingeschobene Spitzen zu erklären. Sind zwei einfache Distanzen gegeben, die in einer zur Sehaxe senkrechten Geraden neben einander liegen, und ist der gemeinschaftliche Punkt derselben fixirt, so werden, wenn die Distanzen gleich sind, auch ihre scheinbaren Gröfsen genau dieselben seyn, wenn wirklich das Auge eine Kugel wäre. Nun ist bekannt, dafs das Auge in den verschiedenen Richtungen verschiedene Krümmungen hat, es läfst sich aber auch annehmen, dafs in einem einzigen, z. B. dem horizontalen Schnitt, die Krümmung nicht an allen Stellen dieselbe ist. Für verschiedene Krümmungen der Netzhaut wird nun in dem Ausdruck $D\frac{2\sin\frac{\omega}{2}}{\operatorname{tg}\omega}$, $\operatorname{tg}\omega$ dasselbe bleiben, für $2\sin\frac{\omega}{2}$ wird man aber die Gerade setzen müssen, die die beiden Endpunkte der Distanz auf der Netzhaut mit einander verbindet. Diese wird je nach der Krümmung der Netzhaut an jener Stelle eine verschiedene seyn. Es müssen daher auch die scheinbaren Gröfsen der Distanzen an den verschiedenen Stellen verschieden seyn. Unsere Versuche ergeben, dafs die scheinbare Gröfse einer Distanz auf der einen Seite eine andere ist, als auf der andern, und zwar liegen die Stellen der gleichen Schätzung in beiden Augen symmetrisch, man schätzt in beiden Augen eine Distanz, die nach Aufsen liegt zu klein. Die dadurch angezeigte Symmetrie in der Krümmung des horizontalen Schnit-





tes der Netzhaut dürfte vielleicht durch den Eintritt des Sehnerven bedingt seyn.

Aus der gegebenen Erklärung ergiebt sich auch sofort weshalb das Mittel aus den rechts und links Lagen ziemlich frei seyn mufs vom Einflufs der Lage, also der Krümmung der Netzhaut.

Endlich möge folgende Bemerkung die Betrachtung der Distanzen beschliefsen.

Nimmt man in der Formel für die scheinbare Gröfse einer Distanz

$$\varDelta = D \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\operatorname{tg} \omega}$$

den Winkel $\omega$ unendlich klein, so ist $\frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\operatorname{tg} \omega} = 1$
also dann

$$d\varDelta = dD$$

also auch

$$\Sigma d\varDelta = \Sigma dD$$

d. h. besteht eine Distanz aus lauter unendlich kleinen Distanzelementen, so ist die scheinbare Länge der Gesammtdistanz gleich der wirklichen.

### II. Das Schätzen der Winkel und die optischen Täuschungen.

Es kann jetzt die Frage entstehen, ob für das Schätzen der Winkel und Flächen ähnliche Gesetze existiren, wie dasjenige ist, welches für die Distanzen gefunden wurde. Winkel und Flächen werden gewöhnlich von einfachen Linien begränzt, und es könnte die falsche Schätzung dieser schon allein einen Einflufs auf die scheinbare Gröfse der Winkel und Flächen ausüben. Da die Versuche, die sich auf Flächen beziehen, noch zu unbedeutend sind, um einen Anhalt für die theoretische Betrachtung zu liefern, so soll im folgenden nur von den Winkeln gehandelt werden, da für die bei ihnen zu erhaltenden Resultate die optischen Täuschungen als Prüfung dienen können.

Es soll aber auch bei den Winkeln nur der einfachste Fall betrachtet werden, nämlich derjenige, wenn die Schei-

tel der Winkel in der Sehaxe liegen, und ihre Ebene senkrecht zu jener Axe ist. Die Schenkel der Winkel werden immer als unter sich gleich angesehen.

Ist nun (Fig. 13 Taf. III) *ABC* ein Winkel dessen Ebene senkrecht zur Ebene der Zeichnung ist, ferner die Sehaxe *Bb* senkrecht zur Ebene des Winkels, *M* der Mittelpunkt der Netzhaut *NN'*. Dann ist das Tangentenbild des Winkels *ABC* der Winkel *abc*, das Netzhautbild aber der sphärische Winkel *dbe*.

Es ist aber

$$ABC = abc = \text{sphär. Wink. } dbe.$$

Schätzte man also den Winkel *ABC* nach seinem Netzhautbilde, so würde man, im Gegensatz zu dem bei den Distanzen gefundenen Satze, keinen Fehler begehen. Nun wird aber die Linie *AB* nach der Sehne *db* geschätzt, und *BC* nach der Sehne *eb*. Es soll daher angenommen werden, dafs man auch den Winkel *ABC* nach der Gröfse des von den Sehnen eingeschlossenen Winkels schätze, der der zu *ABC* gehörige Sehnenwinkel genannt werden soll. Diese eine Annahme giebt aber noch nicht in allen Fällen Aufschlufs über die wirkliche scheinbare Gröfse des betrachteten Winkels. Sind z. B. zwei schneidende Linien gegeben, und ist der Durchschnittpunkt fixirt, und würde nun jeder Winkel einfach nach seinem Sehnenwinkel geschätzt, so hätte man für die Summe der scheinbaren Gröfsen der Winkel die Summe der vier Sehnenwinkel. Diese Summe ist aber als die Summe der Winkel einer Raumecke immer kleiner als 360°. Die Summe der scheinbaren Gröfsen mufs aber 360° ausmachen, denn wie die vier Winkel in Wirklichkeit den ganzen Raum um den Punkt einnehmen, so sehen wir diefs auch die scheinbaren Winkel thun.

Der Grund warum, im Gegensatz zu den Distanzen, bei den Winkeln die scheinbare Gröfse aus der gemachten Annahme noch nicht direct folgt, liegt in Folgendem. Eine Distanz ist etwas für sich Bestehendes; ist dagegen ein Winkel gegeben, so ist damit für unsere Anschauung zu-

gleich ein zweiter Winkel bestimmt, derjenige der den ersten zu 360° ergänzt. Die analoge Ergänzung einer Distanz wäre die Unendlichkeit, da diese aber für alle Distanzen dieselbe ist, mithin kein Functionsverhältnifs zwischen ihr und der Distanz stattfindet, so kann diese letztere für sich allein betrachtet werden. Das ist nicht ohne Weiteres bei einem Winkel erlaubt. Ferner kann die Summe von Distanzen jede Gröfse seyn, die Summe von Winkeln wird für die Anschauung nie die Summe von 360° übersteigen können, und diese Gränze hat die Eigenschaft, dafs für sie wirkliche und scheinbare Gröfse dieselbe ist. Dieselbe Eigenschaft würde auch die unendlich grofse Distanz haben, aber diese kommt überall nicht zur Anschauung.

Es ist daher nöthig, bei der Bestimmung der scheinbaren Gröfse eines Winkels auf alle um denselben Punkt herum liegenden Winkel Rücksicht zu nehmen, und zu beachten, dafs die Summe der scheinbaren Gröfsen 360° betragen mufs.

Dieser Bedingung wird in Verbindung mit der oben gemachten Annahme am einfachsten genügt, wenn das Gesetz der Winkelschätzung folgendermafsen ausgesprochen wird.

*Die scheinbaren Gröfsen der um einen Punkt herum liegenden Winkel sind proportional den zugehörigen Sehnenwinkeln, und gleich den Winkeln die man erhält, wenn man* 360° *im Verhältnifs der Sehnenwinkel theilt.*

Bei Anwendung dieses Satzes sind drei Fälle zu unterscheiden,

1) wenn nur ein Winkel gegeben ist, der kleiner als 180° ist. Der Winkel soll mit $\varphi$ und sein Sehnenwinkel mit $\psi$ bezeichnet werden. Dann ist im Auge nur der eine Sehnenwinkel $\psi$ vorhanden, und dem Winkel $360 - \varphi$ entspricht kein solcher innerhalb der Netzhaut. Man mufs aber als den zu $360 - \varphi$ gehörigen Sehnenwinkel naturgemäfs den Winkel $360 - \psi$ ansehen. Bezeichnet mithin $\theta$ die scheinbare Gröfse von $\varphi$, so ist

$$\theta = \frac{360 \cdot \psi}{\psi + (360 - \psi)} = \psi.$$

Es ist also in diesem Fall die scheinbare Gröfse gleich dem Sehnenwinkel.

2) Sind mehrere Winkel, etwa $\varphi$ und $\varphi'$ gegeben, die zusammen kleiner als 180° sind, so wird man nach dem Obigen für $\theta$ und $\theta'$, wenn $\psi$ und $\psi'$ die Sehnenwinkel sind, und $\psi''$ denjenigen Sehnenwinkel bezeichnet, der dem Winkel $(\varphi + \varphi')$ zugehört, wenn dieser Winkel als ein einziger betrachtet wird, leicht finden

$$\theta = \frac{360\,\psi}{\psi + \psi' + (360 - \psi'')}$$

$$\theta' = \frac{360\,\psi'}{\psi + \psi' + (360 - \psi'')}.$$

3) Ist keiner der Winkel die um den Punkt herum liegen kleiner als 180°, so entspricht jedem derselben ein wirklicher Sehnenwinkel, und man hat

$$\theta = \frac{360\,\psi}{\psi + \psi' + \psi'' + \ldots}$$

$$\theta' = \frac{360\,\psi'}{\psi + \psi' + \psi'' + \ldots}$$

$$\theta'' = \frac{360\,\psi''}{\psi + \psi' + \psi'' + \ldots}$$

usw. usw. usw.

Werden die gegebenen Winkel durch zwei schneidende Linien gebildet, so dafs $\varphi$ und $\varphi'$ zwei Nebenwinkel sind, so findet man

$$\theta = \frac{180\,\psi}{\psi + \psi'}$$

$$\theta' = \frac{180\,\psi'}{\psi + \psi'}.$$

Dieselben Werthe gelten natürlich auch für die andern Nebenwinkel.

$\theta - \varphi$ giebt nun allgemein den Fehler der beim Schätzen eines Winkels begangen wird; um $\theta$ und damit diesen Fehler zu finden, ist es nur noch nöthig die Beziehung zwischen $\varphi$ und $\psi$ aufzusuchen.

Ist (Fig. 14 Taf. III) $ABC$ in derselben Lage zum Auge wie in der vorigen Figur und wird mit $\varphi$ bezeichnet, so

ist auch $abc$ gleich $\varphi$ und ebenso $dfe$, wenn die Ebene $dfe$ senkrecht zu $Bb$ ist. Ferner ist $dbe = \psi$ und bezeichnet man noch Winkel $aMb$ mit $\omega$ und $Mb$ mit $r$, so ist

$$de = 2df \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$de = 2db \sin \frac{\psi}{2}$$

also

$$\sin \frac{\psi}{2} = \frac{df}{db} \sin \frac{\varphi}{2}.$$

Nun ist

$$df = r \sin \omega$$

$$db = 2r \sin \frac{\omega}{2},$$

also

$$\sin \frac{\psi}{2} = \sin \frac{\varphi}{2} \cos \frac{\omega}{2}$$

$\omega$ ist der Gesichtswinkel der Schenkel des Winkels oder wenn $r = 1$, so ist $\operatorname{tg} \omega = ab = bc$.

Es ist $\psi$ und mithin auch $\theta$ eine Function von $\varphi$ und der Länge der Schenkel des Winkels.

Aus der Formel folgt, dafs $\psi$ immer kleiner als $\varphi$ ist und es ist daher, wenn nur ein Winkel gegeben der kleiner als 180°,

$$\theta < \varphi;$$

wenn mehrere gegeben sind, deren Summe kleiner als 180°,

$$\theta < \psi; \ \theta' < \varphi' \text{ etc. etc.}$$

Man wird aber leicht finden, dafs sich das kleinere der $\theta$ weniger von seinem zugehörigen $\varphi$ unterscheidet als das gröfsere.

Sind endlich zwei schneidende Linien gegeben, so ist $\varphi' = 180 - \varphi$ und man hat daher,

$$\sin \frac{\psi}{2} = \sin \frac{\varphi}{2} \cos \frac{\omega}{2}$$

$$\sin \frac{\psi'}{2} = \cos \frac{\varphi}{2} \cos \frac{\omega}{2}.$$

Ist $\varphi$ nun der spitze Winkel, so wird man sich leicht

durch eine numerische Rechnung oder eine geometrische Betrachtung überzeugen, dafs

$$\theta > \varphi$$
$$\theta' < 180 - \varphi$$

Eine später angegebene Tabelle wird diefs ersichtlich machen.

Als allgemeines Resultat ist daher Folgendes anzugeben.

1) Ist einer der um einen Punkt herum liegenden Winkel gröfser als 180°, so werden alle andern zu klein gesehen, und zwar die kleinsten unter denselben am Wenigsten.

2) Von den durch zwei Schneidende gebildeten Winkeln werden die spitzen zu grofs, die stumpfen zu klein gesehen. Schneiden sich also (Fig. 15 Taf. III) die Linien *AB* und *CD* im Punkt *P*, so werden dem Auge die Schenkel *AP* und *PC* aus einander gerückt erscheinen, ebenso *PB* und *PD*. Die beiden Geraden werden also so erscheinen, wie sie in der Figur punktirt sind.
Hiermit ist zugleich die Erklärung der sämmtlichen optischen Täuschungen und ihrer Eigenthümlichkeiten gegeben.

Stellt Fig. 16 Taf. III die Täuschung I dar, so werden darin alle durch einen Punkt gehenden Linien in der obigen Weise gedreht. Von diesen Drehungen werden nur die in der Figur punktirten zum Bewufstseyn kommen, denn die Schneidende *EL* wird bei *F* und *M* im umgekehrten Sinne gedreht wie bei *N*, ebenso erleidet *GJ* Drehungen in verschiedenem Sinne. Diese Linien werden daher unverzerrt erscheinen. Bleibt aber bei ihnen auch eine gewisse Drehung übrig, so wird sich diese doch dem Bewufstseyn viel weniger aufdrängen, als eine Verzerrung der Parallelen, da wir über den Parallelismus zweier Linien ein aufserordentlich scharfes Urtheil haben. Dafs die Parallelen nach den Seiten hin nicht mehr so stark convergiren, wie sie es eigentlich müfsten, hat seinen Grund darin, dafs hier schon ganz ungehindert die Schätzung des Abstandes der Parallelen von einander hinzukömmt.

Nach diesem Beispiel erklären sich III, IV und V mit

grofser Leichtigkeit. Bei IV wird durch die Summation der falschen Winkelschätzung eine geradlinige Convergenz der Parallelen hervorgebracht. VI beruht darauf, dafs wenngleich der spitze Winkel den die einfallende schräge Linie mit der obersten Parallele bildet, zu grofs gesehen wird, dasselbe Princip während sie durch die Parallelen geht, bei jeder derselben in Anwendung kommt, dieselbe also innerhalb der Parallelen doch noch steiler stehen mufs.

II findet in folgender Weise seine Erklärung. Man wird die Linie *AB* (Fig. 17 Taf. III) in der Richtung *BA* sehen, *CD* in der Richtung *CD'*. Verlängert man nun diese scheinbaren Richtungen, so bilden sie nicht mehr eine Linie. Zieht man aber in *E*, da wo *AB* die zweite Parallele schneiden würde, die Linie *EF* parallel *CD*, so erscheint diese in der Lage *EA'*, parallel *CD'*, also als die Fortsetzung von *BA'*. Die Linie *FE* scheint somit die Fortsetzung von *BA* zu seyn.

Bei VIII (Fig. 18 Taf III) erscheint *AB* in der Richtung *AB'*, *DE* in der Richtung *DE'*, so dafs *AB'* und *DE'*, wenn sie auch nicht die Fortsetzung von einander sind, doch dieselbe Richtung haben. Die Linie *HG* hingegen wird nicht blofs durch einen, sondern durch zwei spitze Winkel aus ihrer Lage gedreht, mufs also steiler stehen als die äufseren Enden.

Die aufgestellte Theorie giebt somit eine hinreichende Erklärung der Täuschungen, sie mufs sogar die Mittel liefern, neue Pseudoskopien zu construiren, da man mittelst derselben wenigstens bis zu einem gewissen Grade voraussagen kann, ob und wie eine Zeichnung dem Auge verzerrt erscheinen wird. Vor allem Andern aber mufs die Theorie, wenn sie anders richtig seyn soll, im Stande seyn, die oben angegebenen Eigenschaften der Pseudoskopien zu erklären.

Als erste Eigenschaft wurde angegeben, dafs die Intensität der Täuschungen bis zu einem gewissen Grade zunimmt mit der Abnahme des Einfallswinkels der schrägen Querlinien, dafs jedoch Dr. Zöllner bei der von ihm ge-

fundenen Täuschung ein Maximum der Intensität für einen Einfallswinkel von etwa 30° nachgewiesen hat. Hr. Dr. Zöllner nennt den pseudoskopischen Ablenkungswinkel denjenigen Winkel, den die beiden Parallelen mit einander zu machen scheinen, und findet aus seinen Beobachtungen für diesen Winkel, den er mit $\varphi$ bezeichnet, für verschiedene Neigungen der Querlinien folgende Werthe:

| Neigung = | 20° | 30° | 40° | 40° | 50° | 60° [1] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\varphi$ = | 2° 40′ | 3° 50′ | 2° 34′ | 2° 30′ | 1° 30′ | 0° 46′ |

Diese Erscheinung wird vollständig erklärt seyn, wenn es gelingt nachzuweisen, dafs der Fehler den man beim Schätzen der Winkel zweier schneidenden Linien begeht, ein Maximum für irgend einen Winkel ist. Auf dieser falschen Schätzung beruht nach unserer Theorie die Zöllner'sche Täuschung, findet also für jenen Fehler ein Maximum statt, so mufs diefs auch die Täuschung zeigen.

Schneiden sich zwei Linien, so wurde für die scheinbaren Gröfsen der Nebenwinkel gefunden,

$$\theta = \frac{180\psi}{\psi + \psi'}; \quad \theta' = \frac{180\psi'}{\psi + \psi'}$$

worin

$$\sin\frac{\psi}{2} = \sin\frac{\varphi}{2}\cos\frac{\omega}{2}$$

$$\sin\frac{\psi'}{2} = \cos\frac{\varphi}{2}\cos\frac{\omega}{2}.$$

Der Fehler aber den man beim Schätzen begeht, ist $\theta - \varphi$. Statt nun den directen Weg einzuschlagen, (der übrigens nicht zum Ziel führt, da man für $\varphi$ eine unlösliche transcendente Gleichung erhält) und durch Differentiation das Maximum zu suchen, kann man indirect verfahren und für verschiedene Werthe von $\varphi$, unter Annahme eines bestimmten $\omega$, den Fehler $\theta - \varphi$ bestimmen, und sehen, ob sich ein Maximum desselben für irgend ein $\varphi$ zeigt.

Es wurden nun nicht verschiedene Werthe von $\omega$ angenommen, sondern der Länge der Schenkel des Tangentenwinkels, *abc* in der Fig. 14 Taf. III. Die Länge von

1) Diese Annalen Bd. CXIV, S. 590.

*ab* und *bc* werde mit $\lambda$ bezeichnet, dann ist $\lambda = \text{tg}\,\omega$. Sodann wurden für verschiedene $\lambda$ die Werthe des Fehlers für $\varphi$ von 5° bis 60° berechnet, wie es die folgende Tabelle zeigt.

| $\varphi$ | $\lambda =$ | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\omega =$ | 5° 42',6 | 11° 18',6 | 16° 42',0 | 21° 48',1 | 26° 33',8 |
| 5° | | 0° 3',9 | 0° 11',3 | 0° 18',9 | 0° 26',2 | 0° 43',6 |
| 10 | | 0 4,4 | 0 14,6 | 0 26,9 | 0 39,5 | 0 51,3 |
| 20 | | 0 4,1 | 0 14,8 | 0 29,6 | 0 46,5 | 1 3,6 |
| 30 | | 0 3,5 | 0 12,9 | 0 26,9 | 0 43,3 | 1 1,3 |
| 40 | | 0 2,7 | 0 10,7 | 0 22,8 | 0 37,3 | 0 53,5 |
| 50 | | 0 2,1 | 0 8,0 | 0 18,1 | 0 30,1 | 0 43,9 |
| 60 | | 0 1,6 | 0 6,3 | 0 12,6 | 0 23,3 | 0 33,1 |

Aus dieser Tabelle sieht man ganz klar, dafs $\theta - \varphi$ ein Maximum hat und dafs diefs Maximum für $\lambda = 0{,}1$ etwa bei 10°, und für $\lambda = 0{,}5$ zwischen 20° und 30° liegt. Auch stimmt diese Lage des Maximums so ziemlich mit der vom Dr. Zöllner beobachteten, die übrigens als nur von einem Beobachter ermittelt, keine absolute Schärfe in Anspruch nimmt. Was die Gröfse der dort gefundenen pseudoskopischen Ablenkung betrifft, so läfst sich wohl *a priori* einsehen, dafs der Versuch dieselbe für die Zöllner'sche Beobachtungsreihe theoretisch herzuleiten, nicht zum Ziele führen wird. Man wird nicht ohne Weiteres darüber verfügen können, wie sich die Drehungen an den einzelnen Punkten zusammensetzen, und dann wird auch die Natur des Auges des Beobachters Einflüsse üben, die zu einer numerischen Berechnung nicht genug berücksichtigt werden können. Es genügt, das Vorhandenseyn eines Maximums theoretisch gezeigt zu haben.

Sodann wurde angegeben, dafs die Intensität der Täuschungen zunehme mit der Anzahl der Querstriche, wenigstens bei I, III und IV. Diefs reducirt sich auf eine einfache Summirung der Wirkung an den einzelnen Durchschnittspunkten. Die Intensität wird jedoch nach der Theorie mit Vervielfältigung der Querstreifen nur so lange wach-

sen, bis die dadurch erzeugte Verkürzung der Schenkel der Winkel einen Gegeneinflufs übt, der jener Zunahme der Intensität das Gleichgewicht hält, wie sich sogleich ergeben wird.

Es wurde nämlich angegeben, dafs die Intensität der Täuschungen abnehme und am Ende ganz aufhöre, wenn man sich von denselben entfernt. Man sieht sowohl aus den Formeln als aus der für $\theta - \varphi$ berechneten Tabelle, dafs der Fehler mit der Abnahme von $\omega$ ebenfalls abnimmt, d. h. die Täuschung geringer wird, wenn die Schenkel der Winkel auf der Netzhaut abnehmen. Eine Entfernung von der Täuschung hat aber keine andere Wirkung als die Verkleinerung des Bildes auf der Netzhaut. Man mufs mithin diefs Bild so klein machen können, dadurch dafs man sich hinreichend von der Zeichnung entfernt, dafs die noch übrig bleibenden Fehler bei der Winkelschätzung für unser Auge nicht mehr wahrnehmbar sind.

Es sind bisher die Täuschungen lediglich als eine Folge der falschen Winkelschätzung betrachtet, und sicher ist diese das Hauptmoment bei denselben, da die Täuschungen hauptsächlich Richtungsänderungen von Linien sind; es darf aber nicht aufser Acht gelassen werden, dafs eine pseudoskopische Zeichnung auch Linien und Flächen enthält, die ebenfalls falsch geschätzt werden und zu dem scheinbaren Bilde mitwirken. Man wird daher sagen müssen, eine Zeichnung zeigt dann keine Verzerrung, wenn das Sehnenbild derselben, nachdem es nach dem Gesetze der Distanz, Winkel und Flächenschätzung, welches letztere freilich noch nicht aufgestellt ist, in eine Ebene verlegt ist, für die Schärfe unseres Augenmafses keinen Unterschied von der wirklichen Zeichnung enthält. Statt dieses projicirten Bildes kann man direct das Sehnenbild nehmen, es wird dadurch vielleicht nur die Gränze für die Schärfe unseres Augenmafses eine andere, auf die es uns jedoch hier nicht ankommt. Das richtige Bild wird bei einer senkrecht zur Sehaxe befindlichen Zeichnung nun immer durch das Tangentenbild repräsentirt, wenn also Sehnenbild und Tangentenbild bis auf

eine gewisse Gränze einander ähnlich geworden sind, so hört die Täuschung auf. Dieser Punkt mufs für eine bestimmte Zeichnung ein ganz bestimmter seyn, und die »Verschwindungsentfernungen« müssen daher constante mefsbare Gröfsen seyn.

Von der Täuschung IV wurden 15 Zeichnungen angefertigt, die mit den Buchstaben *A* bis *P* bezeichnet sind. Fig. 4 Taf. III stellt die Zeichnung *C* dar, und man wird daher aus der folgenden Tabelle die Maafse jeder andern entnehmen können.

| | | Anzahl der Querlinien | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ |
| Absolute Gröfse | III | *A* | *D* | *G* | *K* | *L* | *M* |
| | II | *B* | *E* | *H* | *N* | *O* | *P* |
| | I | *C* | *F* | *J* | | | |
| | | 32° | 32° | 32° | 20° | 45° | 70° |
| | | Einfallswinkel der Querlinien. | | | | | |

Hat *C* die Gröfse I, so haben die Zeichnungen in der mit I bezeichneten Horizontallinie dieselbe Gröfse, diejenigen in der mit II bezeichneten Reihe sind in allen Theilen linear doppelt so grofs als die der untern Reihe, die der obersten Reihe linear viermal so grofs als die der untersten. Unter den Verticalreihen sind die Neigungen der Querlinien angegeben, und über denselben die Anzahl derselben, so dafs die Anzahl derselben, in *C* gleich 1 gesetzt ist. Die Zeichnungen waren auf Pappe gezogen und wurden an der Wand befestigt. Auf dem Boden des Zimmers war ein Bandmaafs ausgespannt, längs dem der Beobachter sich entfernte. Die Entfernung wurde an der Ferse in rheinländischen Fufsen abgelesen. Auf diese Weise wurde die folgende Tabelle der Verschwindungsentfernungen erhalten, bei der fünf verschiedene Beobachter betheiligt waren.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | N | O |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Erster Beobachter | 28 | 19 | 9 | 31 | 21 | 13,5 | 30 | 21,5 | 16 | 31 | 30 | 16 | 23 |
| Zweiter Beobachter | 27 | 18,3 | 8,3 | 29 | 22,8 | 14,3 | — | 22,8 | 15,8 | 25 | — | 13,8 | 24,5 |
| Dritter Beobachter | 27 | 15 | 9,4 | 31 | 18,5 | 14 | 29 | 17,5 | 14,8 | 26,5 | 29,5 | 15 | 19,2 |
| | 26,5 | 16 | 10 | 26,5 | 19,5 | 13,5 | 26,5 | 19,2 | 12 | 29 | 30,0 | 16,5 | 20,2 |
| Mittel | 26,8 | 15,5 | 9,8 | 28,8 | 19,0 | 13,8 | 27,8 | 18,4 | 13,4 | 27,8 | 29,8 | 15,8 | 19,7 |
| Vierter Beobachter | 23 | 15,3 | 7,8 | 27,5 | 19 | 13,3 | 25 | 18,8 | 14 | 25 | 26 | 13,5 | 18,3 |
| | 25,8 | 15,3 | 8 | 30,5 | 17,5 | 11,5 | 28 | 17,5 | 12,5 | 26,8 | 31,5 | 17,8 | 20,8 |
| | 22 | 13,5 | 8,3 | 25,5 | 18,5 | 12 | 28,8 | 20 | 16,5 | 21,5 | 30,8 | 13 | 21,5 |
| | 23 | 16 | 7,5 | 29 | 20,8 | 12 | 29,5 | 21 | 16 | 21,3 | 32,5 | 15 | 21,8 |
| Mittel | 23,5 | 15,0 | 7,9 | 28,1 | 18,9 | 12,2 | 27,8 | 19,3 | 14,8 | 23,6 | 30,2 | 14,8 | 20,6 |
| Fünfter Beobachter | 21 | 16,5 | 6,8 | 28,0 | 19 | 12 | — | 24,8 | 14,3 | 28 | — | 13,8 | 19,3 |
| Mittel aus allen Beobachtungen | 24,8 | 16,1 | 8,4 | 28,7 | 19,6 | 12,9 | 28,1 | 20,3 | 14,7 | 26,0 | 30,0 | 14,9 | 21,0 |
| Mittel aus den Beobachtern | 25,3 | 16,9 | 8,4 | 29,0 | 20,1 | 13,2 | 28,5 | 21,3 | 14,9 | 27,1 | 30,0 | 14,8 | 21,4 |

Die Zahlen in den Verticalreihen stimmen, besonders diejenigen wo die Verschwindungsentfernung nicht allzu grofs ist, gut überein. Es zeigt sich dabei eine persönliche Differenz, die Zahlen nehmen im Allgemeinen von oben nach unten ab. Es wurde daher einmal das Mittel aus allen Zahlen genommen, und sodann das Mittel aus den Beobachtern, d. h. das Mittel aus den Zahlen des ersten zweiten und fünften Beobachters und den Mitteln der Zahlen des dritten und vierten. Diese letzten Mittel wurden dann auch nur mit einfachem Gewicht in Rechnung gezogen. Man sieht aber, dafs sich die beiden Mittel wenig unterscheiden. *M* und *P* zeigten überall keine Convergenz der Parallelen.

Aus der Tabelle ist es nun leicht, einen Aufschlufs darüber zu gewinnen, wie die Gröfse der Zeichnung, die Neigung und die Anzahl der Querlinien auf die Verschwindungsentfernungen wirkt.

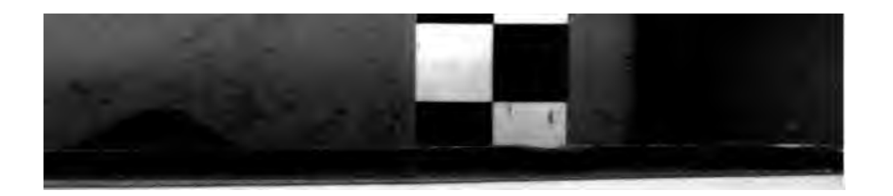
Da das Verschwinden für eine Zeichnung nur von der Gröfse des Netzhautbildes abhängt, so mufs nothwendig eine Zeichnung, die einer andern geometrisch ähnlich aber doppelt so grofs als jene ist, in der doppelten Entfernung wie die erste keine Pseudoskopie mehr zeigen.

In den Verticalreihen der nachstehenden Zusammenstellung sind aus den Zeichnungen diejenigen angegeben mit ihren Entfernungen, die geometrisch ähnlich sind und sich nur durch ihre Gröfse unterscheiden. Es müfsten sich die Zahlen in der ersten, zweiten und dritten Reihe verhalten wie 1 : 2 : 4, in der vierten und fünften wie 1 : 2. Die Zahlen wachsen aber, wie man sieht, viel langsamer. Diese Thatsache, die auf den ersten Anblick ein gewichtiger Einwand gegen die aufgestellte Theorie zu seyn scheint, erklärt sich vollständig durch die im Auge vor sich gehende Accommodation, und mithin Verrückung des Knotenpunktes beim Sehen in verschiedenen Entfernungen.

| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
|---|---|---|---|---|
| *C* 8,4 | *F* 13,2 | *J* 14,9 | *O* 21,4 | *N* 14,8 |
| *B* 16,9 | *E* 20,1 | *H* 21,3 | *L* 30,0 | *K* 27,1 |
| *A* 25,3 | *D* 29,0 | *G* 28,5 | | |

Ist in Fig. 19 Taf. III *NN'* die Netzhaut, und sind *C'C''*, *B'B''*, *A'A''*, drei der obigen, einander ähnliche Täuschungen, und ist, wenn die Entfernung des Punktes *C* vom Auge gleich *d* ist, diejenige von *B* gleich 2*d* ist, die von *A* gleich 4*d*, so würde, wenn wie bisher angenommen für alle Entfernungen der Kreuzungspunkt der Strahlen derselbe wäre, das Netzhautbild der drei Zeichnungen gleich seyn. Nehmen wir nun auch statt der zwei Knotenpunkte des Auges einen einzigen Kreuzungspunkt an, so wird dieser doch nicht für alle Entfernungen derselbe seyn, sondern mit dem Näherrücken des betrachteten Gegenstandes sich von der Netzhaut entfernen. Die zu *C*, *B* und *A* gehörigen Knotenpunkte werden also etwa seyn *K*, *K'*, *K''*. Dann sind die Netzhautbilder *c' c''*, *b' b''*, *a' a''*. Es sey nun *C' C''* in derjenigen Entfernung vom Auge, dafs die Pseudoskopie nicht mehr wahrnehmbar ist, so ist *c' c''* gerade derjenige Raum auf der Netzhaut, auf welchem das Sehnenbild sich nicht mehr merklich von dem Tangentenbild unterscheidet. Dann ist aber *b' b''* sowohl wie *a' a''* bereits unter dieser Gränze, und man wird *B' B'* und *A' A''* so weit nähern können, dafs sie durch ihre zugehörigen Knotenpunkte gerade den Raum *c' c''* auf der Netzhaut einnehmen. Wäre die Accommodation eine vollkommene, und kämen nicht dadurch, dafs sie diefs nicht ist, die Zerstreuungskreise und ihre Gröfse mit in Betracht, so würde man durch unsere Beobachtungen ein leichtes Mittel gewinnen, die lineare Verschiebung des Knotenpunktes für verschiedene Entfernungen zu bestimmen.

Stellt man jetzt diejenigen Zeichnungen zusammen, die gleiche Gröfse haben und sich nur durch die Anzahl der Querlinien unterscheiden, so hat man:





| 1. | 2. | 3. |
|---|---|---|
| *G* 28,3 | *H* 21,3 | *J* 14,9 |
| *D* 29,0 | *E* 20,1 | *F* 13,2 |
| *A* 25,3 | *B* 16,9 | *C* 8,4 |

Die Zeichnungen in der ersten Horizontallinie haben halb so viele Querlinien als diejenigen der zweiten, diese halb so viele als diejenigen der dritten. Obgleich nun die Zeichnungen mit den meisten Querlinien bei naher Betrachtung am intensivsten sind, so verschwinden dieselben doch am ersten. Das Sehnenbild der Zeichnung mit den meisten Querstrichen schmiegt sich nämlich am nächsten an die Netzhaut an, es wird sich weniger von dem Netzhautbilde unterscheiden, als dieselbe Zeichnung bei gleicher Gröfse, wenn die Hälfte der Querstriche fehlt. Die Zeichnung mit den meisten Linien erreicht also am ersten jene Gränze, wo der Unterschied zwischen Sehnenbild und Tangentenbild unmerklich wird, mufs also am Ersten verschwinden.

Die Zeichnungen, die sich nur durch den Einfallswinkel der Querlinien unterscheiden, sind endlich folgende:

| | 1. | 2. |
|---|---|---|
| 20° | *K* 27,1 | *N* 14,8 |
| 32° | *D* 29,0 | *E* 20,1 |
| 45° | *L* 30,0 | *O* 21,4 |

Man sieht, dafs wieder die intensivsten Täuschungen, diejenigen mit den kleinsten Neigungswinkeln, am Ersten verschwinden. Der Grund ist derselbe wie der soeben angegebene, die Zeichnungen mit den kleinsten Winkeln schmiegen sich am engsten an die Netzhaut an, wovon man sich sogleich überzeugt, wenn man eine Zeichnung mit grofsem und kleinem Neigungswinkel gegen einander hält. Die Gesammtsumme der gezogenen Linien ist im letzten Fall viel gröfser als im ersten.

Es wurden im Anfang noch zwei Drehungen der Zeichnungen und deren Wirkung angegeben. Dreht man die Täuschung IV um eine horizontale Axe, so bleibt die Intensität dieselbe und scheint zuerst sogar etwas zuzunehmen. Durch eine solche Drehung wird nämlich die Längendimension des Bildes gar nicht geändert, nur die Querstriche verkürzen sich etwas, erscheinen dafür aber auch schräger zu liegen, so dafs die Gesammtgröfse des Bildes, so lange man überhaupt die Zeichnung noch deutlich sieht, sich wenig ändert, also keine Abnahme der Intensität dadurch statt finden kann, während jene scheinbare schrägere Lage der Querlinien dieselbe erhöht.

Dreht man dagegen um eine verticale Axe, so bleibt nur die verticale Dimension ungeändert, die Länge der Parallelen aber nimmt mit der Drehung ab. Dadurch wird das Bild auf der Netzhaut, gerade in der Richtung auf die es ankommt, so verkürzt, dafs beim Entfernen von der Zeichnung ein Punkt kommen mufs, wo die Täuschung unsichtbar wird. Dieser Punkt wird freilich etwas weiter hinausgeschoben dadurch, dafs die Querlinien durch eine solche Drehung sich steiler zu stellen scheinen, man mufs aber endlich doch auf einen Punkt kommen, wo Sehnen- und Tangentenbild sich nicht mehr merklich unterscheiden. Man könnte die Drehungswinkel, bis dieser Punkt erreicht ist, messen, doch hat das practisch seine Schwierigkeit. Sehr bequem dagegen ist es, die beiden Methoden die die Täuschung verschwinden lassen, Entfernung und Drehung zu combiniren. Die obigen Zeichnungen wurden unter 45° zu dem Bandmaafs, auf dem der Beobachter sich entfernte, aufgestellt, und nun die Verschwindungsentfernungen bestimmt. Es wurde erhalten:

| *A* | *B* | *C* | *D* | *E* | *F* | *H* | *J* | *K* | *N* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17,5 | 10,2 | 6,5 | 18,5 | 13,5 | 9 | 13 | 8 | 20 | 13 |
| 18 | 11 | 6 | 18 | 13,2 | 7,5 | — | 8 | 20 | 13 |





Die beiden Reihen der Zahlen stimmen sehr gut, sie sind von dem dritten Beobachter der obigen Tabelle erhalten. Sämmtliche Entfernungen sind bedeutend kleiner als dort, was beweist, dafs ein Stück der Entfernung durch die Drehung um 45° ersetzt ist.

Endlich wurde noch angegeben, dafs das Maximum der Täuschungen nicht ganz in der Nähe derselben, sondern erst in einiger Entfernung stattfindet, Entfernungen die ebenfalls sehr gut mefsbar sind, und öfter für die Zeichnungen bestimmt wurden. Wenngleich der Weg auf dem unsere Theorie auch von dieser Erscheinung eine Erklärung finden mufs, nicht schwer anzugeben ist, so haben doch die Rechnungen noch kein befriedigendes Resultat ergeben, und diese Erscheinung mufs daher hier unerklärt bleiben.

Die sämmtlichen Untersuchungen über die Verschwindungsentfernungen gelten übrigens nicht blofs für IV, sondern für alle Täuschungen mit Ausnahme von VIII. Bei VIII findet gerade entgegengesetzt eine Zunahme der Täuschung mit der Entfernung statt, die im höchsten Grade überraschend ist. Eine eingehendere Untersuchung dieser Täuschung habe ich bis jetzt noch nicht unternehmen können.

Dafs die Täuschungen weniger intensiv werden, wenn sie statt aus Geraden aus Kreisbögen bestehen, ergiebt sich nach dem Vorigen unmittelbar. Für die Kreisbögen kann man keine Sehnen im Auge ziehen, denn sie sind keine gröfsten Kreise, und nur für solche treten bei Distanzelementen an die Stelle der Bögen die Sehnen. So weit aber ein Stück des Kreisbogens wenig von einer Geraden abweicht, wird besonders an den Durchschnittspunkten die Sehnentheorie angewendet werden müssen, und diese Stücke werden um so kleiner, mithin die Täuschung um so geringer, je kleiner der Radius der Kreisbögen ist.

Die mitgetheilten stereoskopischen Versuche wurden mit einem gewöhnlichen Stereoskop und in gröfserem Mafsstabe mit zwei Spiegeln ausgeführt. Das Resultat, dafs bei einzelnen gar nicht, bei andern ganz schwach eine Täuschung sichtbar war, beweist ganz evident, dafs die Täu-

schungen nicht blofs auf einem psychischen Vorgange beruhen können. Es wäre kein Grund vorhanden, warum unser Bewufstseyn nicht ebenso gut sollte beirrt werden können, wenn ihm die gesammte Vorstellung durch ein Auge, als wenn sie ihm stückweise durch die einzelnen Augen zugeführt wird. Hängt die Täuschung dagegen wesentlich vom Netzhautbilde ab, so wird auch ein Unterschied eintreten müssen, je nach dem das ganze Bild auf einer Netzhaut, oder die beiden Theile desselben sich auf den verschiedenen Netzhäuten befinden.

Zum Schlufs der Betrachtung der optischen Täuschungen, möchte ich noch folgende Erscheinung erörtern, die bereits vom Hrn. Dr. Zöllner angegeben und von ihm als »nonienartige Verschiebung der Querstreifen« bezeichnet ist. Betrachtet man die von Zöllner zu seiner Abhandlung gegebene Figur der Täuschung, so findet man, dafs die kleinen Querstreifen an den beiden Seiten verschoben sind gegeneinander. Dieselbe Erscheinung zeigt die Fig. 20 Taf. III, und eine ähnliche die Fig. 21. In derselben erscheinen die beiden Schneidenden im Schneidungspunkt von den stumpfen Winkeln zu eingeschnürt, man glaubt nicht zwei Schneidende zu sehen, sondern zwei spitze Winkel von breiteren Streifen gebildet, die mit ihren äufsersten Spitzen an oder auf einander gelegt sind. Beide Erscheinungen sieht man am besten, wenn man auf die Zeichnungen blickt ohne das Auge für dieselben zu accommodiren, also ohne sie zu fixiren. Die Erklärung beider Erscheinungen ist dieselbe wie die der Täuschung II. Die schwarzen Streifen sind nämlich nicht als Linien, sondern gewissermafsen als Flächen anzusehen und die falsche Winkelschätzung kommt daher jeder Begränzungslinie dieser Flächen zu. Sind Fig. 22 Taf. III *ABCD* und *EFGH* zwei solche schneidende schwarze Streifen, die der Deutlichkeit der Figur wegen, nicht schwarz ausgefüllt sind, so werden an den Punkten *LJK* und *M* die Winkelveränderungen oder die Drehungen der Linien stattfinden, und die beiden Streifen werden so erscheinen wie sie punktirt sind.

Dadurch entsteht nun erstens die Verschiebung der Hälften der Schneidenden gegen einander, wie in II, sodann aber liegen die Schnittpunkte von *aM* und *gL* und *fM* und *dL* nicht mehr in *I* und *K*, sondern in *i* und *k*. *i* und *k* können sich nun unter Umständen sehr weit von *J* und *K* entfernen und einander sehr nahe rücken, dann entsteht nicht die Vorstellung zweier Schneidenden, sondern der Winkel *aciKeg* und *FhkJbd*, die mit den Spitzen *i* und *k* an einander gelegt sind.

## Schlufs.

Die Erfahrung, dafs man bei einem Kreise den nebengezeichneten Durchmesser stets gröfser sieht als denjenigen des Kreises, gehört nicht ganz rein ins Gebiet der Distanzschätzung, sondern scheint bereits auf das dritte, das der Flächenschätzung, hinzuführen. Es soll darauf hier deshalb nicht eingegangen werden, zumal ich in nicht zu langer Zeit im Stande seyn werde, hierüber numerische Beobachtungen mitzutheilen, die zu einer genügenden Basis für die Theorie dienen können. Ebenso übergehe ich auch die Abplattung des Halbkreises. Sodann ergab sich im Laufe der Untersuchung noch, dafs anscheinend eine bedeutende Verschiedenheit der Schätzung horizontaler und verticaler Linien stattfindet, wie ich denn z. B. erfuhr, dafs einzelne Leute beim Zeichnen eines Quadrates einen ganz bestimmten Fehler im verticalen Sinne begehen. Ferner erscheint den meisten Augen ein spitzer Winkel in horizontaler Lage gröfser als in verticaler. Eine Erklärung dieser Erscheinungen mit Hülfe unserer Theorie und der Annahme verschiedener Krümmungen des Auges, scheint nicht allzu fern zu liegen.

Endlich habe ich mich bemüht zu untersuchen, wie weit sich wohl im practischen Leben die Folgen des Gesetzes der Distanzschätzung erstreckten und habe denn eine bedeutende Tragweite desselben kennen gelernt. Ich sehe davon ab, dafs die Erscheinungen, dafs man über Wasser, auf der Haide stets zu kurz schätzt, durch unsere Theorie erst eine stichhaltige Erklärung finden, dafs die grofsar-

tigste optische Täuschung die existirt, die scheinbare Abplattung des Himmelsgewölbes, eine der schönsten Belege für die Theorie giebt, ich habe fast überall Belege für dieselbe gefunden, und gesehen, dafs das Meiste von dem hier mitgetheilten practisch, freilich überall zerstreut, längst bekannt war. Von Zeichnern erfuhr ich, dafs sie den Einflufs von Punkten in einer zu theilenden Linie sehr wohl kannten, von Lithographen, dafs einzelne Buchstaben viel schräger gelegt werden müfsten um gleich schräge auszusehen als die andern, und bei einem einäugigen Mechaniker war der Fehler, den derselbe beim Halbiren einer Linie beging, vollständig constant, und ihm selbst sehr wohl bekannt.

So liefse sich noch Manches hierher gehörige anführen. Das Feld welches durch diese Untersuchungen eröffnet ist scheint ziemlich umfangreich zu seyn, und wenn es gleich erst in ganz vereinzelten Punkten angebaut ist, so wird sich in Zukunft doch Manches von demselben ernten lassen.

Wie die »Sehnentheorie« physiologisch zu rechtfertigen oder nur zulässig sey, gehört hier nicht her und ist Sache der Physiologen. Ebenso hat es mich unbeirrt gelassen, dafs sie der Ansicht widerspricht, wonach die Schätzung auf der Anzahl der wirklich afficirten Netzhautpartikelchen, den letzten empfindenden Organen des Sehnerven, beruht. Ich bin absichtlich solchen Fragen fern geblieben und habe mich nur bestrebt für die Thatsachen die Erklärung zu geben, die ihnen am Einfachsten entspricht.

Nur einen Einwurf möchte ich gleich zurückweisen, der mir öfter gemacht ist. Man nimmt an, die Schätzung irgend einer gröfseren Distanz könne bei ruhendem Auge gar nicht zu Stande kommen, sondern erfolge dadurch, dafs das Auge mit seinem Fixationspunkt den Gesichtwinkel durchlaufe. Gesetzt auch diefs wäre wirklich richtig, so würde es doch nur die hier gegebene Darstellungsweise, nicht das Wesen der Sache selbst treffen. Statt der Sehne, nach welcher bei ruhendem Auge eine Distanz geschätzt wird, hätte man dann einfach die Sehne des Bogens zu nehmen den der Fixationspunkt durchläuft. Damit blieben alle Betrachtungen





und Deductionen dieselben, sie würden sich nur lange nicht so anschaulich darstellen, als bei der Annahme des ruhenden Auges. —

## IX. *Zur Absorption des Lichtes;* *von A. Wüllner.*

In meiner Gratulationsschrift zum 50jährigen Doctorjubiläum des Hrn. Gerling zu Marburg [1]) habe ich einige Versuche mitgetheilt über die Spectra glühender Dämpfe von Iod, Brom und Untersalpetersäure. Ich war zu diesen Versuchen veranlafst durch die Notiz des Hrn. Thomson in den *Annales de chim. et de phys. III Ser. T. LXII p.* 191, in welcher derselbe eine frühere Idee des Hrn. Stokes mittheilt, welche eine mechanische Erklärung der schönen Beobachtungen des Hrn. Kirchhoff über die Absorption des Lichtes in Flammen und damit der Absorption des Lichtes überhaupt einschliefst. Der Ideengang des Hrn. Stokes ist bekanntlich folgender.

Die Aussendung des Lichtes hat jedenfalls in einer periodischen Bewegung der Körpermolecüle ihren Grund, welche sich dem sie umgebenden Aether mittheilt; die Aussendung einer bestimmten Lichtqualität beweist daher, dafs die Molecüle der Flamme in einer bestimmt periodischen Bewegung sich befinden. Glühender Natrondampf, welcher gelbes der dunklen Linie *D* entsprechendes Licht aussendet, wird daher eine ebensolche periodisch schwingende Bewegung haben, seine Theilchen werden eine der des Aethers an gelben Lichte entsprechende Oscillationsdauer besitzen.

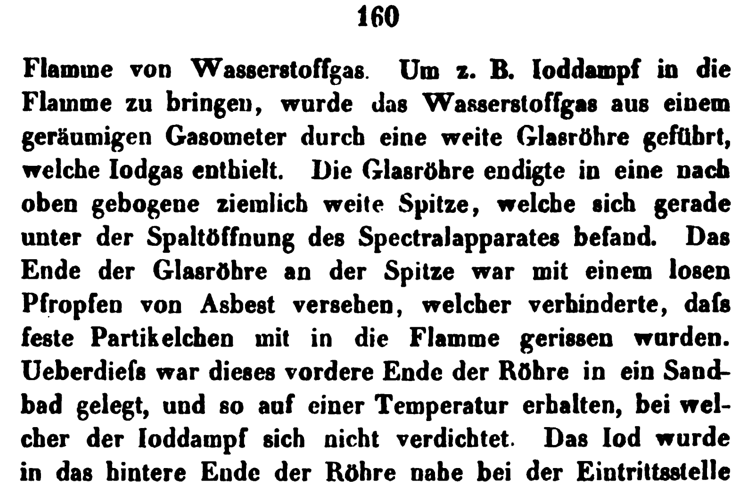
1) Ueber die Absorption des Lichtes in isotropen Mitteln. (Im Auftrage der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu *Marburg*) 1862.

Eben deshalb mufs nun aber auch der eine Lichtquelle umgebende Natrondampf das Bestreben haben, Licht derselben Art in sich zurückzuhalten, indem die Schwingungen dieser Lichtart geschwächt werden und an Geschwindigkeit verlieren müssen, weil die Aethermolecüle bei jeder Vibration mit den nebenliegenden in gleicher Periode schwingenden Natriummolecülen zusammenstofsen.

Es lag sofort nahe, mit Rücksicht auf die in einer früheren Arbeit [1]) von Hrn. Stokes ausgeführte Theorie der Absorption, diese Idee auf sämmtliche Absorptionserscheinungen auszudehnen, die Absorption des Lichtes also ganz allgemein darin begründet zu sehen, dafs die schwingenden Aethermolecüle ihre Geschwindigkeit den Molecülen der absorbirenden Körper mittheilen, welche vielleicht erst durch das eindringende Licht veranlafst in Perioden schwingen, welche ihrer Molecularstructur angemessen sind. Daraus ergab sich dann weiter, dafs wenn irgend ein Körper oder ein Gas bei gewöhnlicher Temperatur für bestimmte Lichtarten ein besonderes Absorptionsvermögen zeigt, dafs dann der in Rede stehende Körper vermöge seiner Molecularstructur zu den betreffenden Oscillationen besonders geneigt ist. Wenn deshalb der in Rede stehende Körper in höheren Temperaturen seine Natur nicht ändert, dann mufs er, bis zu jener Temperatur erwärmt wo die Körper überhaupt Licht auszusenden vermögen, vorzugsweise jenes Licht aussenden, welches er in niederen Temperaturen absorbirt.

Um diesen Satz zu prüfen und damit eventuell einen Beweis für die Richtigkeit der neuen Absorptionstheorie zu finden, versuchte ich im vorigen Jahr einen Vergleich der Absorptionsspectra des Iod, Brom und der Untersalpetersäure mit den Spectris der Flammen anzustellen, in welchen diese Dämpfe glühen. Um Flammen zu erhalten, welche nur das von diesen Dämpfen herrührende Licht aussenden, leitete ich die betreffenden Dämpfe in eine

1) In seiner Untersuchung über Fluorescenz. Pogg. Ann. Ergänzungsband IV.





Flamme von Wasserstoffgas. Um z. B. Ioddampf in die Flamme zu bringen, wurde das Wasserstoffgas aus einem geräumigen Gasometer durch eine weite Glasröhre geführt, welche Iodgas enthielt. Die Glasröhre endigte in eine nach oben gebogene ziemlich weite Spitze, welche sich gerade unter der Spaltöffnung des Spectralapparates befand. Das Ende der Glasröhre an der Spitze war mit einem losen Pfropfen von Asbest versehen, welcher verhinderte, dafs feste Partikelchen mit in die Flamme gerissen wurden. Ueberdiefs war dieses vordere Ende der Röhre in ein Sandbad gelegt, und so auf einer Temperatur erhalten, bei welcher der Ioddampf sich nicht verdichtet. Das Iod wurde in das hintere Ende der Röhre nahe bei der Eintrittsstelle des Wasserstoffes gebracht und mit einer Weingeistflamme erhitzt. Das Wasserstoffgas mischte sich auf diese Weise vollständig mit dem Ioddampf, der in der Flamme zum Glühen kam, wenn der Gasstrom an der Spitze entzündet wurde.

In ähnlicher oder etwas anderer Weise verfuhr ich um Bromdämpfe oder Dämpfe von Untersalpetersäure in die Flamme zu bringen.

Es gelang mir nun damals zu zeigen, dafs wenigstens in so weit die Folgerungen der Absorptionstheorie sich bestätigten, dafs diejenigen Theile der Flammenspectra die hellsten waren, in welchen bei Durchgang des Tageslichtes durch die Dämpfe die meisten dunklen Streifen waren. So z. B. finden sich im Absorptionsspectrum des Iods dunkle Streifen vorwiegend im Roth, Gelb und Grün. Das Blau und Violett erscheint zwar geschwächt, besonders wenn die Ioddämpfe sehr dicht waren, Streifen indefs konnte ich in diesen Theilen des Spectrum nicht erkennen. Dem entsprechend zeigte sich im Spectrum der Iodflamme auch nur Roth, Gelb und Grün, vom Blau und Violett kaum eine Spur. Eine ähnliche Uebereinstimmung fand sich zwischen den Spectris der Bromdämpfe und denjenigen der Untersalpetersäure und den Absorptionsspectris dieser Dämpfe.

Beim Iodgase gelang es sogar helle und dunkle Streifen





in dem Flammenspectrum zu erkennen, aber nicht den Nachweis zu liefern, daſs die hellen Streifen der Flamme den dunklen des Absorptionsspectrum entsprechen und umgekehrt, da sich in beiden Spectris mit meinem Apparate die Lage der Streifen nicht scharf bestimmen lieſs.

In den andern Flammen konnten keine Streifen beobachtet werden, da sie zu lichtschwach waren um die nothwendige Verengerung des Spaltes zu ertragen.

Die Beobachtung des Iodspectrum erhielt für mich ein neues erhöhtes Interesse, als ich vor einigen Wochen in Bonn Gelegenheit hatte die schönen Beobachtungen des Hrn. Plücker über die Gasspectra zu sehen, welche mir zu zeigen Hr. Plücker die Freundlichkeit hatte. Als ich das von Hrn. Plücker als erstes bezeichnete Spectrum des Stickstoffs sah, erkannte ich sofort, daſs das von mir gesehene Iodspectrum nicht das schon länger von Hrn. Plücker beobachtete zweite Iodspectrum war, sondern ein erstes, welches Hr. Plücker seit seiner Entdeckung der doppelten Spectra ebenfalls vorher gesagt hatte, und in dessen Beobachtung er denselben Beweis für die neue Absorptionstheorie erwartete [1]).

1) Betreffs der Beobachtung des Hrn. Plücker über die ersten und zweiten Spectren glühender Gase erlaube ich mir hier mit Hrn. Plücker's Erlaubniſs den Inhalt eines Briefes mitzutheilen, den mir Hr. Plücker als Antwort auf die briefliche Mittheilung der folgenden Beobachtungen zu senden die Güte hatte. Hr. Plücker schreibt mir:

»In der bekannten geschichtlichen Notiz des Hrn. Miller in London über Spectralanalyse wird gegen die neue Absorptionstheorie des Lichtes der Einwand erhoben, daſs das von mir bereits 1859 bestimmte Iod-Spectrum durchaus in keiner Beziehung zu demjenigen steht, welches man erhält, wenn Sonnenlicht (oder besser Licht, das für sich ein continuirliches Spectrum giebt) durch Ioddampf geleitet wird. Das Spectrum des Iod besteht aus blendenden Linien auf dunklem Hintergrunde, das Absorptionsspectrum aus etwa 50 Feldern, die eigenthümlich durch feine dunkle Linien schattirt sind. Spectra von der erstgenannten Art habe ich später als »zweite Spectra« bezeichnet, Spectra wie das fragliche Absorptionsspectrum »erste Spectra,« zu denen auch das 1858 von mir beschriebene Stickstoffspectrum gehört.«

»Aus den Untersuchungen, welche im August vorigen Jahres in dem hiesigen physikalischen Laboratorium von Prof. Hittorf und mir ge-





Vor kurzem erhielt ich nun von den HH. G. und S. Merz in München ein Prisma aus neuem Flintglase von einem ganz ausgezeichneten Dispersionsvermögen. Diefs veranlafste mich die voriges Jahre liegen gelassenen Versuche wieder aufzunehmen, da ich hoffen durfte mit demselben wenigstens die deutlichsten der früher gesehenen dunklen Streifen im Iodspectrum ihrer Lage nach bestimmen zu können.

Das Prisma wurde zu dem Ende in einen Steinheil'schen Spectralapparat eingesetzt, welcher in der gewöhnlichen Weise mit einer Scala versehen ist, um an den Theilstrichen derselben helle oder dunkle Streifen in dem durch den Apparat gesehenen Spectrum fixiren zu können.

Zunächst wurde nun die Lage der Absorptionsstreifen im Spectrum des durch Ioddampf hindurchgetretenen Tageslichtes bestimmt. Die Streifen zeigten sich überhaupt bis ungefähr zur Fraunhofer'schen Linie *F*; der brechbarere Theil des Spectrums war allerdings geschwächt, Streifen vermochte ich in demselben aber nicht zu erkennen.

So lange die Ioddämpfe nicht zu dicht waren, erschienen in meinem Prisma die Absorptionsstreifen zwischen den Fraunhofer'schen Linien *C* bis fast *F* als beinahe gleichweit abstehende schwarze Streifen, so dafs der helle Zwischenraum mit den schwarzen Streifen fast gleiche Breite hatte. Wurden die Ioddämpfe dichter und dichter, so än-

meinschaftlich angestellt worden sind, ergab sich, dafs gewisse Körper, welche als nicht einfache anzusehen einstweilen noch verwegen seyn würde, (Stickstoff, Schwefel usw.) je nach der Temperatur zwei absolut verschiedene Spectra geben; ein erstes Spectrum, das der niederen, und ein zweites, das der höhern Temperatur entspricht. Der Uebergang von dem einen Spectrum zum andern ist ein discontinuirlicher. In Folge dieser neuen unvorhergesehenen Thatsache erschien mir insbesondere auch der Miller'sche Einwurf unter einem neuen Gesichtspunkte. Auf Grund der fraglichen Absorptionstheorie sagte ich neben dem zweiten Iodspectrum ein einer geringeren Erwärmung entsprechendes, als negatives Bild des Absorptionsspectrum vorher, und umgekehrt erwartete ich in der Verwirklichung dieser Vorhersagung eine schöne Bestätigung der Absorptionstheorie«.





derte sich der Charakter des Absorptionsspectrums im Rothen und Gelben bis zum Grünen nicht; die einzelnen dunklen Streifen wurden nur dunkler und ein wenig breiter. Das Grüne dagegen schien sich bei dichter werdendem Ioddampfe mit einem dunklen Schleier zu bedecken, der immer dichter ward und schliefslich das Grün vollständig auslöschte. So lange die Streifen erkennbar waren, schienen sie indefs sich nicht mehr verbreitert zu haben als auch die anderen.

Betreffs der Absorption im grünen Theile des Spectrums ist indefs zu erwähnen, dafs von Anfang an schon die lichten Zwischenräume zwischen den Absorptionsstreifen dunkler erschienen, so dafs es schwierig war, die einzelnen dunklen Linien scharf zu fixiren.

Folgende kleine Tabelle enthält die an der Scala des Apparates bestimmte Lage einer Anzahl von Streifen, nämlich derjenigen, welche von nahe *C* bis ungefähr $D\frac{1}{2}E$ sichtbar waren.

Zur Orientirung diene, dafs die Scala in 250 Theile getheilt ist, von denen das Spectrum etwa 200 bedeckte. Das Spectrum scheint auf der Scala zu liegen, deren Theilstriche schwach beleuchtet sind; man kann die dunklen Streifen über, zwischen und unter den Theilstrichen sehen, so dafs man ihre Lage mit groser Sicherheit bestimmen kann.

Auf der Scala lagen die Fraunhofer'schen Linien.

*C* zwischen den Theilstrichen 67 und 68
*D* » » » 86 » 87.

Die beobachteten dunklen Linien des Absorptionsspectrums fanden sich nun auf und zwischen den Theilstrichen

| | | |
|---|---|---|
| 72 | 90—91 | |
| 73—74 | 92—93 | |
| 75—76 | 94—95 | |
| 77—78 | 96 | |
| 79—80 | 98 | |
| 81 | 100 | Gränze des grünen; die folgenden dunklen Linien sind bei einiger Dichte des Ioddampfes nicht mehr sichtbar. |
| 83 | 101—102 | |
| 85 | 103—104 | |
| 86—87 Fraunh. *D.* | 105—106 | |
| 88—89 | 107—108 | |
| | 109—110 | |

Um nun das Spectrum der Iodflamme mit dem Absorptionsspectrum zu vergleichen, verfuhr ich im wesentlichen wie früher; die mit glühendem Ioddampfe erfüllte Wasserstoffflamme wurde vor die Spaltöffnung des Spectralapparates gebracht. Um den Apparat vor der Einwirkung der Ioddämpfe zu schützen und zugleich damit die Flamme ruhiger brenne, wurde dieselbe von einem cylindrischen Lampenglase umgeben.

Die Wasserstoffflamme, in welcher nur wenig Ioddampf vorhanden ist, leuchtet nur schwach und zwar mit grünlichem Lichte; sie wird viel leuchtender, und zwar in röthlich gelbem Lichte, umgeben von einem schwach leuchtenden grünlichen Saume, wenn das Wasserstoffgas stark mit Ioddampf gesättigt ist, so dafs ein starker Strom der rothen Ioddämpfe aus der Flamme entweicht.

Sorgt man nun dafür, dafs der hellste Theil der Flamme vor der Spalte des Spectralapparates sich befindet, so genügt ein Blick in das Fernrohr desselben, um die überraschende Aehnlichkeit in dem Charakter des Flammenspectrums und desjenigen des durch Ioddampf hindurchgegangenen Tageslichtes zu erkennen.

Etwa von der der Fraunhofer'schen Linie *C* entsprechenden Stelle an erscheint das Flammenspectrum ebenso wie das Absorptionsspectrum aus abwechselnden hellen und dunklen Streifen stabgitterartig zusammengesetzt, am deut- [illegible] Grün. Das Grün erschien





viel continuirlicher, die dunklen Streifen in demselben waren kaum zu erkennen. Viel deutlicher zeigten sich die letztern, wenn die Flamme bei geringerem Iodgehalte lichtschwächer war und wie erwähnt mit grünlichem Lichte leuchtete; die Uebereinstimmung im Charakter auch dieses Theiles beider Spectra trat dann deutlich hervor. Indefs auch dann gelang es nicht hier die dunklen Streifen zu fixiren und ihre Lage an der Scala zu bestimmen, da die Erscheinung überhaupt nur sehr lichtschwach und da es sehr schwierig war die Flamme gerade in diesem Zustande länger zu erhalten, weil sich mit einer Weingeistflamme die Temperatur der Iodröhre nur schwer so regeln liefs, dafs nicht zu viel und nicht zu wenig Iod in der Flamme war [1]).

Auch die deutlichern Streifen im Rothen und Gelben zu bestimmen, hatte einige Schwierigkeit, welche darin begründet war, dafs man immer nur kurze Zeit ein schönes Spectrum erhalten konnte; indefs gelang es doch in einer Anzahl von Versuchen die Lage derselben von *C* an bis etwas über die *D* entsprechende Stelle hin zu bestimmen. Folgende kleine Tabelle enthält die *dunklen* Streifen des Flammenspectrums, deren Lage mit Sicherheit bestimmt werden konnte.

Die *dunklen* Streifen im Flammenspectrum lagen auf und zwischen den Theilstrichen der Scala.

1) Wie mir Hr. Plücker in dem eben erwähnten Briefe mittheilt, hat er in einer ebenso dargestellten Iodflamme auch das dem Absorptionsspectrum entsprechende Iodspectrum erkannt. Er schreibt mir:

»Von Anfang meiner Untersuchungen an, als ich zuerst durch Hülfe des Inductionsstromes das Spectrum eines eingeschlossenen verdünnten Gases erhielt, bezeichnete ich diese Erscheinung als eine solche, die lediglich der Erwärmung durch den Strom zuzuschreiben sey und stellte mir die Aufgabe, das Gas auch auf anderm Wege zum Glühen zu bringen. Die ältern Versuche, namentlich über Iod waren unvollkommen; neue Versuche waren zur Zeit Ihres Besuches bereits eingeleitet; die Vorrichtungen, deren sich Hr. St. Claire Deville zum Hervorbringen der hohen Temperaturen bedient, bereits in meinen Händen. Nach Ihrer Abreise habe ich als vorläufigen Versuch das erste Spectrum des Iod dargestellt in der Weise wie Sie früher verfuhren und die wir besprachen«.





| | |
|---|---|
| 70—71 | 84 |
| 72—73 | 86 |
| 74—75 | 88 |
| 76—77 | 91—92 |
| 78 | 93—94 |
| 82 | 95—96. |

Die Lücken zwischen den Zahlen 78 und 82 und zwischen 88 und 91 bedeuten nicht dafs dort keine dunklen Streifen sich finden: sie rührten daher, dafs die letzten. Beobachtungen, welche mir die Streifen zwischen 80 und 90 ergaben, durch einen unglücklichen Zufall unterbrochen werden mufsten.

Stellt man nun die dunklen Streifen in dem Absorptionsspectrum des durch Ioddämpfe hindurchgegangenen Tageslichtes und in dem Flammenspectrum neben einander, so zeigt sich in überraschender Weise, dafs die dunklen Streifen im Flammenspectrum dort liegen, wo das Absorptionsspectrum helle Streifen hat und umgekehrt: Denn die dunklen Streifen liegen auf und zwischen den Theilstrichen

| im Absorptionsspectrum. | im Flammenspectrum. |
|---|---|
| 72 | 70—71 |
| 73—74 | 72—73 |
| 75—76 | 74—75 |
| 77—78 | 76—77 |
| 79—80 | 78 |
| 81 | 82 |
| 83 | 84 |
| 85 | 86 |
| 86—87 Fraunh. *D* | 88 |
| 88—89 | 91—92 |
| 90—91 | 93—94 |
| 92—93 | 95—96 |
| 94—95 | |
| 96 | |

Die Folgerungen der Absorptionstheorie zeigen sich so— [illegible] ...enden Iodgases auf da[illegible]

Iod sendet in der Th[illegible]

das Licht aus, welches die violetten Dämpfe des Iod absorbiren.

Für den Bromdampf ist es mir nicht gelungen, die Uebereinstimmung nachzuweisen, da die Flamme desselben zu lichtschwach war, als dafs ich ein reines Spectrum von ihr erhalten konnte.

---

## X. *Bestätigung meiner Hageltheorie; von Dr. Mohr.*

Seit der Mittheilung meiner Hageltheorie in Band 117, S. 89 dieser Annalen hatte ich keine Gelegenheit einen Hagel zu beobachten. Man kann dieser Erscheinung nicht entgegen reisen, sondern man mufs ruhig abwarten, bis sie sich einstellt, was immer noch so früh geschieht. Unsere Gegend ist im Ganzen sehr selten von Hagel heimgesucht, und von einem verheerenden Hagelschlag nicht mehr seit Menschengedenken, weshalb auch sogar keine Ländereien gegen Hagel versichert sind. Meine Theorie leitet die Bildung des Hagels von der Einschlürfung der oberen kalten Luftschicht in das durch Verdichtung von Wasserdampf und Raumveränderung durch Abkühlung entstandene Vacuum ab, und mit Hülfe derselben kann man die nothwendig vorangehenden Bedingungen, so wie den Verlauf der Erscheinung genau vorhersagen. Wenn diese Forderungen der Theorie mit der Beobachtung übereinstimmen, so liegt darin eine Unterstützung der Theorie, und wenn sie immer überstimmen eine Bestätigung.

Zu einer Bildung eines Vacuums gehört die nothwendige Bedingung, dafs die Luft stark erhitzt und mit Feuchtigkeit beladen sey. Der beobachtete Hagelschlag fand am 10. August 1863 Nachmittags von 4½ bis 5 Uhr dahier statt.

Die Tage vor dieser Zeit waren ungemein heifs, und namentlich der 9. August unerträglich schwül. Das Thermometer zeigte im Schatten 28° R. und absolute Windstille herrschte. Da ich zufällig an diesem Tage in Ems war, so habe ich die Schwüle des Tages bis auf die Hefe genossen. Selbst bei der Rückfahrt gegen 9 Uhr Abends war die Luft noch unerträglich warm. Eine ganz gleichlaufende Beobachtung wurde bei dem Hagelschlag am 25 Juni dieses Jahres zu Avesnes im Departement du Nord gemacht. Im Observateur d'Avesnes vom 28. Juli d. Jahres heifst es: »*Ce même fait est constaté a l'occasion de l'orage du* 25. *juin dernier. Les journées du* 23. *et* 24. *juin furent très calmes et très-chaudes à la fois, et pendant la nuit du* 24. *et* 25. *il n'y eut presque pas de refroidissement*«.

Am 10. August war wieder am Vormittag eine drückende Hitze, und am Nachmittag bildete sich, südöstlich von meinem Standort, ein schwarzes Gewölk, indem gegen 4 Uhr die ersten Donner wahrgenommen wurden. Damit setzte sich denn auch die Wolke in Bewegung, jedoch viel langsamer, als bei gewöhnlichem Gewitter betrachtet wurde. Gegen halb fünf Uhr fielen die ersten Wassertropfen von ungewöhnlicher Gröfse. Es ist eine bekannte Erfahrung, dafs die ersten Tropfen vor einem Gewitter immer sehr breit auffallen, und dafs der Wasserfleck einen Durchmesser von 15 bis 20$^{mm}$ hat. Im vorliegenden Falle hatten die Wasserflecke einen Durchmesser von 40$^{mm}$ und konnten mit einem Doppelthaler kaum gedeckt werden. Diese grofsen Wassertropfen sind die ersten in der untern noch sehr heifsen Atmosphäre wieder geschmolzenen Hagelkörner, welche deswegen ganz bleiben, weil sie bis kurz vor ihrem Auffallen einen festen Körper zum Kern haben. Darauf kamen Wassertropfen aus denen noch ein kleines Hagelkorn heraussprang, und bald darauf kamen ganze und feste Hagelkörner mit kleineren aus flüssigen Tropfen vermischt. Von nun an fing ein furchtbares Geprassel an, und die Hagelkörner erreichten 20 bis 30$^{mm}$ Durchmesser. Man sah die Körner fast in horizontaler Richtung fortfliegen,





und dadurch den senkrechten Fensterscheiben Verderben bringend. Die Geschwindigkeit dieser Körner war ungeheuer; ich habe viele Stellen gesehen, wo sie ein rundes Loch durch eine Glasscheibe schlugen ohne dieselbe ganz zu zertrümmern. Die verheerende Wirkung der Hagelkörner hängt von ihrer Gröfse und ihrer Schnelligkeit ab; die Schnelligkeit aber von der Gröfse, dem Widerstande der Luft und der Beschleunigung der Schwere. Wenn ein Körper in freier Luft fällt, so wird er eine gleichförmige Geschwindigkeit annehmen, so bald der Widerstand der Luft ebenso grofs ist, als die Beschleunigung der Schwere. Dieser Fall tritt bei einer fallenden Feder, bei dem Samen der Ringelblume sehr bald ein, dagegen bei schwereren Körpern um so später, je gröfser ihr specifisches und absolutes Gewicht, und je kugelförmiger ihre Gestalt ist. Die Hagelkörner, von einem specifischen Gewicht gleich 0,926 gehören noch zu den specifisch leichten Körpern, und bei einer Masse von 7 bis 8 Cubikcentimeter auch noch zu den kleinern. Ein Hagelkorn von 7 bis 8 Grm. Gewicht würde beim freien Fall in der Luft nicht eine solche Geschwindigkeit annehmen können, um eine Glasscheibe von 3 bis $4^{mm}$ Dicke zu zerschlagen, was sie im Hagelschlag thaten. Diefs erklärt sich dadurch, dafs die ganze Luft mit hinunterstürzt, das Hagelkorn sich also in einer mit ihm gleich bewegten Luft befindet, in welcher der Luftwiderstand gleich Null wird. Unter diesen Bedingungen kann es durch die Beschleunigung der Schwere eine Schnelligkeit annehmen, die es in ruhiger Luft, wegen des mit der Geschwindigkeit zunehmenden Widerstandes nicht erreichen kann. Es ist demnach die zerstörende mechanische Kraft der Hagelkörner ein Beweis für die Ansicht, dafs im Hagel die oberen kalten Luftschichten mit hinabstürzen. Der in Rede stehende Hagelschlag dauerte von $4\frac{1}{2}$ bis 5 Uhr. Von Neuwied aus sah man die schwarze arbeitende Wolke über unserer Gegend schweben und ahnte sogleich ein Unglück. Nach Neuwied kam kein Tropfen Regen. Während jener halben Stunde, als die Hagelwolke langsam über





unsere Gegend vorüber zog, hatten wir in dem Hagel ununterbrochen den furchtbarsten Sturm. Es war das die von oben mit dem Hagel herabstürzende kalte obere Luft welche eine so furchtbare Wasserverdichtung veranlafste, dafs in Coblenz das Wasser in den Strafsen wie ein Bach flofs und in viele Keller eindrang. Die zur Erde stürzende Luft breitete sich nach allen Seiten aus, und indem sie in immer gröfsere Kreise drang, nahm ihre Bewegung nach aufsen immer mehr ab, so dafs der eigentliche Strom nur unter dem Trichter der Hagelwolke selbst stattfand. Vor dem Hagel war wenig Wind, und nach demselben wieder die vollkommenste Windstille mit dem schönsten Wetter. Es hat also kein Sturm den Hagel herbeigeführt, sondern er entstand zugleich mit dem herabstürzenden Hagel. Die Richtung in welcher die Hagelkörner die Gegenstände trafen, hing von der Stelle ab, die man in Bezug auf die Mittellinie der Wolke hatte. So kam die Wolke zu uns aus der Richtung Südost, aber aus der Lage der umgelegten Haferfelder habe ich mit der Bussole gemessen, dafs bei mir die Richtung des Sturmes noch 15 bis 20 Grad vom Meridian nach Südwesten hin lag, weil der Ort schon aus der Mittellinie zur Seite heraus lag. So wurden die meisten Fenster bei uns von der südlichen Seite zertrümmert, dagegen in Coblenz, was noch mehr seitwärts lag, sogar aus der westlichen Richtung. Alles diefs spricht ganz deutlich für das Mithinabstürzen der Luft; die in der Mittellinie liegenden Orte bekommen den Hagelschlag in der Richtung der bewegten Wolke, die rechts oder links gelegenen Orte aus einer Richtung, welche auf die Mittellinie convergirt. Mafs man an verschiedenen Stellen mit der Bussole die Richtung des noch auf dem Halme stehenden geknickten Hafers (Korn und Weizen waren schon entfernt), so fand sich diese nirgendwo parallel, sondern ganz entsprechend der Ansicht von der mit hinabstürzenden Luft nach aufsen gelegt, und zwar nach der einen Seite nördlich, nach der andern südlich.

Während des Anfanges des Hagels mufsten wir die nach





Osten und Süden gelegenen Fenstern des Hauses geschlossen halten, indem dort der Regen und Hagel hineinstürzte und auch Scheiben zertrümmert wurden; dagegen konnten wir auf der westlichen und nördlichen Seite die Fenster öffnen um das Schauspiel genauer zu sehen. Etwa 5 Minuten vor 5 Uhr mufsten wir die Fenster an der nördlichen und westlichen Seite schliefsen, konnten aber die entgegengesetzten öffnen und so wurden zum Abschied noch einige Scheiben auf der West- und Nordseite zertrümmert. Hinter der hagelnden Wolke stürzten Wind, Regen und Hagel nach rückwärts hinaus, und diese Beobachtung wurde ganz allgemein in Coblenz gemacht, indem man sich dort so ausdrückte, dafs der Wind gegen Ende ganz in die entgegengesetzte Richtung umgesprungen sey. Diese Thatsache spricht am deutlichsten und schärfsten für meine Ansicht: der Sturm schien beim Abziehen des Gewitters aus jener Gegend zu kommen, in welche die Hagelwolke abzog; sie wurde also ganz sicher nicht von einem Sturme in jene Gegend getrieben, sondern sie schob sich nur langsam in das sich immer von neuem bildende Vacuum, wo die Luft noch warm und feucht war. Auffallend war, dafs sie überhaupt so langsam sich vorwärts bewegte und fast ½ Stunde lang über einem Orte zu schweben schien. Aber diefs erklärt sich durch die ungewöhnliche Hitze der vorangegangenen Tage, welche an einem Orte eine genügende Raumverminderung gestattete, um die Erscheinung so lange zu nähren. Während des eigentlichen Unwetters wurde weder ein Blitz noch Donner mehr wahrgenommen.

Bei der Langsamkeit, womit sich die Hagelwolke bewegte, hätten die Hagelkörner senkrecht auf den Boden fallen müssen. Da aber die obere Luft mit hinunterstürzt und auf der Erde seitwärts ausweichen mufs, von der nachrückenden Luft gedrängt, so ist klar, dafs die in der Luft schwebenden Hagelkörner ebenfalls die seitliche Richtung annehmen müssen, und diefs ist der eigentliche Grund, warum der Hagel den senkrecht stehenden Fensterscheiben so vielen Schaden bringt.





Uebrigens verzichte ich gern auf jede fernere Bestätigung meiner Hageltheorie, da ich sie diefsmal mit ungefähr 200 Thlr. in zerbrochenen Fensterscheiben, niedergeschlagenen Feldfrüchten, zerschmetterten Trauben und zerstörten Culturen bezahlt habe.

## XI. *Ueber Dr. E. Hering's Kritik meiner Theorie des Binocularsehens; von Dr. W. Wundt.*

Im 119. Bd. dieser Ann. S. 115 bis 130 hat Dr. Ewald Hering in Leipzig meine Theorie des binocularen Sehens einer Erörterung unterworfen, die mich zu folgenden Gegenbemerkungen veranlafst.

Hr. Hering meint, die Identitätslehre werde durch die Thatsache, dafs wir beim Stereoskopiren mit nicht identischen Netzhautstellen einfach sehen, deshalb nicht alterirt, weil die Differenz der Netzhautbildlage eine gewisse sehr enge Gränze nicht überschreiten dürfe. Hierauf ist zu erwidern, dafs eine bestimmte Gränze für die Möglichkeit der Vereinigung natürlich schon deshalb existiren mufs, weil über jene Gränze hinaus eine entsprechende stereoskopische Vorstellung gar nicht mehr möglich ist. Die allbekannte Thatsache aber, dafs man beim Stereoskopiren »mit solchen nahebei identischen Stellen nicht unter allen Umständen einfach sehen *mufs*, sondern nur unter günstigen Umständen einfach sehen *kann*« beweist selbstverständlich nur, dafs unsere Vorstellung, durch den Willen oder andere Motive veranlafst, eine gewisse Freiheit in der Projection der Netzhautbilder nach aufsen besitzt. Wenn aber diese Thatsache sonst noch etwas beweist, so zeugt sie jedenfalls nicht *für*, sondern *gegen* die Identitätslehre. Denn bekanntlich sind bei diesem Wechsel Einfachsehen und stereoskopisches Sehen wenig an einander gebunden: sobald wir die zwei ste-

reoskopischen Contouren zur Vereinigung bringen, bekommen wir auch die Anschauung der Tiefenausdehnung, und die letztere schwindet, sobald jene Vereinigung aufhört; es handelt sich also offenbar nicht um ein beliebiges Vernachlässigen nahe zusammenfallender Doppelbilder, sondern um eine gesetzmäfsige Verschmelzung derselben zu einer einheitlichen Vorstellung.

Gegen meine subjectiven stereoskopischen Versuche wendet Hr. Hering ein, dafs es ihm nicht gelungen sey, die von mir angegebenen Erfolge zu beobachten. Ich kann hierauf nur bemerken, dafs verschiedene in optischen Versuchen sehr geübte Beobachter, welche die Experimente auf meine Veranlassung wiederholten, ausnahmslos ein mit dem meinigen übereinstimmendes Resultat erhalten haben. Worauf es beruht, dafs Hr. Hering die Winkeldistanz der geneigten Strahlbilder nur sich verkleinern, nicht bei einer bestimmten Stellung der Projectenbilder verschwinden sah, vermag ich freilich nicht anzugeben.

Hr. Hering bemerkt bei dieser Gelegenheit, von den Formeln, die ich zur Berechnung der stereoskopischen Vorstellung aus der Lage der Bilder angegeben habe, sey diejenige falsch, die sich auf die perspectivische Projection geneigter Bilder bezieht. Nennt man $m$ und $n$ die zwei Winkel, um welche die beiden Contouren von der Horizontalen abweichen [1]), $s$ die geradlinige Entfernung der Projectionsebene, $2g$ die Verbindungslinie der Augenmittelpunkte, so habe ich zur Berechnung des Winkels $\pi$, um welchen die Projectionsebene aus ihrer zur Visirebene senkrechten Anfangslage gedreht werden mufs, damit die stereoskopischen Contouren zusammenfallen, die Formel anführt:

$$\operatorname{tg}\pi = \frac{s(\operatorname{tg}m + \operatorname{tg}n)}{2g\operatorname{tg}m\operatorname{tg}n - (\operatorname{tg}m + \operatorname{tg}n)} \quad . \; . \; . \quad (1)$$

Diese Formel ist aus folgender hervorgegangen:

1) S. meine Beitr. zur Theorie der Sinnesw., S. 278. In dem Auszug in diesen Annalen steht durch einen Schreib- oder Druckfehler »von der Verticalen« statt »von der Horizontalen.«

$$\operatorname{tg}\pi = \frac{s l(\operatorname{tg} m + \operatorname{tg} n)}{2g \operatorname{tg} m \operatorname{tg} n - l(\operatorname{tg} m + \operatorname{tg} n)} \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

in welcher $l$ die senkrechte Höhe der zwei zu einander geneigten Linien auf der ursprünglichen Projectionsebene bedeutet. Es ist aber in dieser Formel schon vorausgesetzt, dafs eine von der Mitte der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte aus nach dem *oberen* Endpunkt von $l$ gezogene Linie $s'$ von der Linie $s$ und also auch von der Visirebene so wenig abweicht, dafs der Winkel zwischen $l$ und $s'$ noch gleich 90° angenommen werden könne. Es ist dann weiterhin die Höhe $l = 1$ gesetzt und so die Gleichung (1) entstanden. Hierbei ist aber nicht beachtet, dafs man, sobald einmal jener Winkel = 90° angenommen wird, $l$ nicht mehr von beliebiger Gröfse annehmen darf, was unter andern Umständen allerdings statthaft wäre, sondern dafs $l$ jedenfalls eine im Vergleich zu $s$ verschwindende Gröfse ist. Berücksichtigt man diefs, so geht die Gleichung (2) in folgende über:

$$\operatorname{tg}\pi = \frac{s(\operatorname{tg} m + \operatorname{tg} n)}{2g \operatorname{tg} m \operatorname{tg} n}.$$

Diese letztere ist die *richtige* Formel, und es bedarf meine frühere Angabe hiernach der Berichtung [1]). Hr. Hering findet die Formel:

$$\operatorname{tg}\pi = \frac{s(\operatorname{tg} m + \operatorname{tg} n)}{2g}.$$

Diese Formel ist ganz unbedingt falsch, mögen nun die Winkel $m$ und $n$ sich auf die verticale oder horizontale Axe der ursprünglichen Projectionsebene beziehen. Wenn also Hr. Hering sich künftighin wieder dem an und für sich recht dankenswerthen Geschäft widmen will, die Rechnungsverstöfse in den Arbeiten Anderer aufzusuchen, so wäre doch zu wünschen, dafs er bei solchen Gelegenheiten nicht gröbere Fehler mache als die er zu corrigiren beabsichtigt. —

Endlich macht es mir Hr. Hering zwar nicht zum Vor-

1) Ich hatte die Formel trigometrisch abgeleitet. Die Ableitung läfst sich aber eleganter und präciser auf analytisch-geometrischem Wege geben.

wurf, dafs ich den Horopter zu bestimmen versucht, wohl aber, dafs ich zur experimentellen Aufsuchung correspondirender Punkte mich des Doppelsehens bedient habe. Auch diefs würde Hrn. Hering nicht als ein Widerspruch erscheinen, wenn er sich mit der Erfahrung genügend vertraut gemacht hätte, dafs bei allem Stereoskopiren, namentlich mit freiem Auge, ein Doppeltes möglich ist: eine Bildung der stereoskopischen Vorstellung oder ein Beziehen eines jeden Doppelbildes auf den Ort, den das flächenhafte Object einnimmt: das Verhältnifs der zwei Netzhautbilder zu einander enthält das Motiv zu jener, nebenherlaufende sonstige Wahrnehmungen enthalten das Motiv zu diesem. Indem wir die Aufmerksamkeit nach der einen oder andern Richtung überwiegend denken können, steht es innerhalb gewisser Gränzen in unserer Willkür, ob wir einfach oder doppelt stereoskopisch sehen wollen. Lediglich diese aus der Beobachtung längst bekannte Thatsache habe ich in meinen Versuchen benutzt.

Was nun die specielle Bestimmung des Horopters betrifft, so habe ich in meinen »Beiträgen zur Theorie der Sinneswahrnehmung« zuerst die Horopter der Winkelverschiebung und queren Verschiebung von einander getrennt und zugleich nachgewiesen, dafs die bisherigen Untersuchungen schon in der Methode verfehlt waren, indem sie immer nur je einen dieser partiellen Horoptern, nicht aber beide zusammen und den aus ihnen zu constatirenden Totalhoropter in Betracht zogen [1]). In der Bestimmung des Horopters der Winkelverschiebung habe ich mich jedoch geirrt. Nachdem dieser sowie der Totalhoropter nunmehr durch eine eingehende mathematische Untersuchung von Helmholtz [2]) deren Veröffentlichung wohl demnächst zu erwar-

1) Was Hr. Hering bei Gelegenheit des Horopters der Winkelverschiebung (S. 123) über die Unmöglichkeit sagt, dafs ein Winkel durch Projection vom monocularen auf das binoculare Sehfeld verschwinde, ist irrthümlich. Ich verweise ihn in dieser Beziehung auf Meifsner's neue Versuche über die Augenstellungen, wo diese Projectionen richtig ausgeführt sind. (Zeitsch. für rat. Medicin, Bd. VIII S. 19.)

2) Mitgetheilt dem naturwissenschaftlichen Verein zu Heidelberg.

ten steht, endlich festgestellt worden ist, kann ich mich eines weiteren Eingehens auf die Horopterfrage hier enthalten. Was aber die Doppelbilderversuche betrifft, die ich bei dieser Gelegenheit angestellt habe, so mufs ich nach wiederholter Prüfung an der Richtigkeit derselben festhalten. Hrn. Hering's Einwände beruhen auch hier, wie bei den stereoskopischen Strahlbilderversuchen auf einer voreiligen Verallgemeinerung eigener unvollkommner Versuchsresultate. Wie meine Beobachtungen aus der mathematischen Horoptertheorie abgeleitet werden können, wird wohl die Zukunft lehren.

Heidelberg, im August 1863.

## XII. *Höhe des Aconcagua.*

Durch eine vollständige geodätische Operation hat Hr. Pissis gefunden, dafs der Aconcagua in Chile die Höhe von 6834 Meter besitzt, mithin den Chimborasso um etwa 300 Meter übertrifft [1]). Zugleich weist er nach, dafs dieser Berg, der insgemein für einen Vulkan ausgegeben wird, nichts Vulkanisches hat, sondern vom Fufse bis zur Spitze aus geschichtetem Gestein besteht, zu unterst aus den überall in den Anden vorkommenden Porphyren [2]), und oben aus kreidigem Terrain (*Compt. rend, LVII*, 33).

1) Auch drei andere Gipfel in der Nähe sind nach ihm respective 6799, 6527 und 6347 Meter hoch.

2) Die aber doch schwerlich den geschichteten Gesteinen beizuzählen sind. P.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstr. 47.



1863. ANNALEN №. 10
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CXX.

# I. *Ueber den Durchgang der strahlenden Wärme durch polirtes, mattes und berufstes Steinsalz, und über die Diffusion der Wärmestrahlen;* *von H. Knoblauch.*

(Auszugsweise vorgetragen in der vereinigten physikalisch-chemischen Section der Naturforscher-Versammlung zu Speyer am 19. September 1861 und in der naturforschenden Gesellschaft zu Halle am 24. Januar und 7. Februar 1863.)

## I. Steinsalz mit glatter Oberfläche.

Der von Melloni [1]) aufgestellte Satz, dafs klares *Steinsalz jede Art von Wärmestrahlen in gleichem Verhältnifs hindurchlasse*, ist, wenn zwar von namhaften Physikern, wie Forbes [2]) und Baden-Powell [3]) zugegeben, dennoch von Anderen, welche sich mit der strahlenden Wärme beschäftigt haben, bestritten oder wenigstens in Zweifel gezogen worden.

1) *Compt. rend.* IX, 315; X, 537; XI, 141; XVIII, 39; XXXVI, 709; XXXVII, 293, 599; XXXVIII, 429. (*Mém. de l'Acad.* XIV.) — Monatsber. d. Berl. Acad. 1853, S. 227. — *Annal. de Chim. et de Phys*; LIII, 5; LV, 337; LX, 418; LXXII, 40. — *Inst.* No. 84, *p.* 410. No. 89, *p.* 22. — Pogg. Annal. XXXV, 298, 299, 307, 401—403, 412, 535, 536, 550, 552, 561, 567, 578; XXXVII, 491; (XXXVIII, 28, 30; XXXIX, 557); XLIII, 21, 284; XLVIII, 327—330; XLIX, 577; LI, 87; LXII, 21, 22; LXXXIX, 84—90. — Melloni, Thermochrôse, 164, 166, 187, 189, 190, 195, 196, 214, 227, 228, 238, 245, 247, 265, 280, 303, 307, 308, 329, 332.

2) *Transact. of the Roy. Soc. of Edinburgh XV, pt. I.* — Pogg. Annal. LI, 107.

3) *Phil. Mag.* 4^th *Ser.* III, 536, 537, 540.

So behaupten de la Provostaye und Desains[1]): dafs Steinsalz eine ungleiche Absorption auf verschiedene Arten von Wärmestrahlen ausübe und zwar, dafs es Wärme leuchtender Quellen weniger zurückhalte, als dunkle Wärme.

Auch Stewart[2]) ist der Meinung, dafs dasselbe den Strahlen höherer Temperatur einen reichlicheren Durchgang als solchen von niederem Wärmegrade gestatte. Derselbe behauptet ferner einen Unterschied in der Durchstrahlung der von verschiedenen Körpern bei gleicher Temperatur ausgesandten Wärme.

Zantedeschi, welcher früher[3]) ebenfalls entschieden jener Ansicht war, hat diese später[4]) dahin geändert, dafs er das Steinsalz, den Wärmestrahlen niederer Temperatur gegenüber, für diathermaner erklärt, als hinsichtlich derer von hoher Temperatur.

In einen noch eigenthümlicheren Widerspruch mit seinen eigenen Behauptungen geräth Volpicelli, welcher in zwei unmittelbar auf einander folgenden Sätzen[5]) sagt: das Steinsalz bewähre die von Melloni an irdischen Wärmequellen erkannte Eigenschaft »athermochroisch« zu seyn, auch bei den Sonnenstrahlen, und sodann: eine $0^m,15$ dicke Steinsalzplatte lasse bei hindurchgehendem Sonnenstrahl keine Ablenkung am Thermomultiplicator eintreten, während Lampenwärme dieselbe bis auf $1^0$ beobachten lasse, eine Erscheinung, welche alsdann aus der ungleichen Beschaffenheit beider Strahlengruppen (auf welche das Steinsalz doch eben nicht reagiren sollte) abgeleitet wird.

1) *Compt. rend.* XXXVI, 84, 1073; XXXVII, 170, 669. — Pogg. Annal. XC, 625, 626.

2) *Transact. of the Roy. Soc. of Edinb.* XXII, 1 ff., 59 ff. — *Proc. of Edinb. Soc.* 1857—58, *p.* 95; 1858—59, *p.* 203. — *Phil. Mag.* 4th *Ser.* XX, 535, 538.

3) *Racc. fis. chim. ital.* II, 291 ff., 295, 296, 302—304. — *La termocrosi di Melloni dimostrata insussistente e l'autore in opposizione con se stesso, p.* 1—7.

4) Sitzungsber. d. Kais. Acad. zu Wien XXIV, 43—49.

5) *Compt. rend.* XXXV, 956.





Magnus [1]) hält die Frage wenigstens nicht für völlig entschieden, indem er die Möglichkeit zugiebt, dafs Steinsalz einen ungleichen Einflufs auf verschiedene Wärmestrahlen ausüben könne.

Ich selbst habe diese Zweifel aufs Vollständigste getheilt [2]) in Folge der Erfahrungen, die ich an einem Exemplar von Steinsalz gemacht hatte, welches den von verschiedenen Körpern diffus reflectirten [3]), oder von verschiedenen Substanzen hindurchgelassenen [4]), oder den von ungleichen Wärmequellen ausgesandten [5]) Wärmestrahlen einen mehr oder minder reichlichen Durchgang gestattete.

Bei solchen Widersprüchen und Zweifeln kam es darauf an, eine für die gesammte Lehre von der strahlenden Wärme so wichtige Frage noch einmal an der Erfahrung zu prüfen und wo möglich zu entscheiden, ob dem Steinsalz in der That die Stellung zukomme, welche Melloni ihm angewiesen, oder ob die Lehre von der strahlenden Wärme nach der nunmehrigen Kenntnifs auf den Standpunkt einer Optik versetzt sey, der kein einziges farblos durchsichtiges Medium verblieben.

Die Entscheidung dieser Frage hatte an Bedeutung gewonnen, seitdem das Steinsalz auch als Mittel bei weitergehenden Untersuchungen, wie der Polarisation [6]), der Interferenz [7]) der Wärmestrahlen usw. in Anwendung gekommen war.

1) Pogg. Annal. CXII, 515.

2) Fortschritte der Physik i. J. 1847, dargest. v. d. physik. Gesellsch. zu Berlin, S. 264. — Pogg. Annal. CI, 174, 212.

3) *De calore radiante disquisitiones experimentis quibusdam novis illustratas scripsit Carolus Hermannus Knoblauch. Berolini*, MDCCCXLVI, *p.* 61—85, 98—100. — Pogg. Annal. LXXI, 12—45, 62—67; CIX, 597, 599, 603.

4) *De calore radiante disquisitiones cet. p.* 46. — Pogg. Annal. LXX, 360, 361.

5) *De calore radiante disquisitiones cet. p.* 12, 13, 16, 18, 46, 72. — Pogg. Annal. LXX, 217, 218, 223, 225, 360, 361; LXXI, 28, 29.

6) Wartmann, *Archiv. des sc. phys. et nat.* I, 417, 418; (*Compt. rend.* XXII, 745.) — Pogg. Annal. LXXI, 573.

7) Knoblauch, Monatsber. d. Berl. Acad. 1859, S. 565. — Pogg.

Das zu den Versuchen erforderliche Material wurde von verschiedenen Seiten bezogen, den gröfseren Theil desselben aber verdanke ich der besonderen Güte des Hrn. Berghauptmanns v. Hövel, welcher mit vorzüglichen Stücken des Stafsfurther Steinsalzes mich versorgte.

1. Die erste Prüfung beschäftigte sich mit der Frage, ob die *von verschiedenen Körpern diffus reflectirten Sonnenstrahlen*, welche bei allen bisher untersuchten diathermanen Substanzen so bedeutende Unterschiede zu erkennen gegeben hatten [1]), sämmtlich eine und dieselbe Steinsalzplatte in gleichem oder ungleichem Verhältnifs durchdringen würden.

Die von Platin, Gyps, Carmin, Kupferoxyd, rothem Tafft; weifsem Sammt, schwarzem Sammt, schwarzem Papier, weifser Wolle, Holz und grünem Wachstuch zurückgeworfenen Wärmestrahlen der Sonne wurden der Reihe nach auf eine quadratische Thermosäule gerichtet, und, nachdem sie so durch directe Strahlung jedesmal eine und dieselbe Ablenkung an dem mit der Säule verbundenen Multiplicator hervorgebracht hatten, durch die nach einander vor der Thermosäule eingeschalteten Steinsalzplatten hindurchgelassen.

Es wurde dabei ganz dasselbe Verfahren befolgt und und alle die Vorsichtsmafsregeln angewandt, welche in früheren Abhandlungen [2]) bereits näher bezeichnet worden sind.

Die hier zur Prüfung kommenden Steinsalze waren ein $6^{mm}$ dickes, von Lerebours et Secretan in Paris bezogenes Stück; zwei Exemplare aus Stafsfurth, das eine von $5^{mm}$, das andere von $13^{mm},5$ Dicke und ein $17^{mm}$ dickes von der Saline Wilhelmsglück bei Hall und Kocher (in der Nähe von Steinbach) in Würtemberg, sämmtlich in parallelepipedischer Gestalt, von glatten, entweder natürlichen oder künstlich angeschliffenen, an der Vorder- und Rück-

Annal. CVIII, 611. — Amtl. Bericht der Naturforscher-Versammlung zu Königsberg 1860, S. 112.

1) Pogg. Annal. CIX, 595—601.

2) Pogg. Annal. CI, 186, 188; CIX, 595, 596.





seite polirten Flächen begränzt. Die von Stafsfurth und Wilhelmsglück zeichneten sich durch ihre Klarheit aus. In der folgenden Tabelle sind sie, der Kürze halber, nur durch ihre Dicken unterschieden; jedoch nicht nach diesen geordnet, um die beiden Stafsfurther Exemplare nicht von einander zu trennen. Zum Vergleich ist ihnen das, bei den bisherigen Veröffentlichungen aufgeführte, Steinsalz von 4$^{mm}$,4 Dicke in erster Linie beigefügt. In der Uebersicht der Ergebnisse ist die, der ursprünglichen directen Einstrahlung entsprechende Wärme gleich 100 gesetzt und hierauf die nach dem Einschalten der Platten durch diese hindurch zur Thermosäule gelangende Menge bezogen worden.

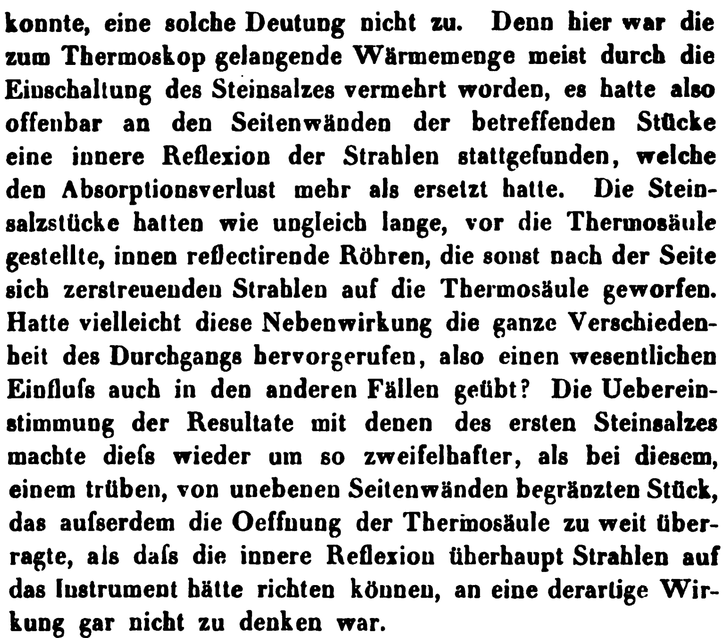
| Steinsalze von der Dicke: | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, nach der Reflexion von: | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | bei unreflectirter Sonnenwärme. | Platin. | Gyps. | Carmin. | Kupferoxyd. | rothem Taft. | weifsem Sammt. | schwarzem Sammt. | schwarzem Papier. | weifser Wolle. | Holz. | grünem Wachstuch. |
| mm 4,4 | 100 : 62 | 65 | 85 | 90 | 81 | 85 | 85 | 75 | 65 | 85 | 85 | 75 |
| mm 6,0 | 100 : 75 | 75 | 89 | 92 | 83 | 89 | 89 | 79 | 75 | 89 | 89 | 79 |
| mm 5,0 | 100 : 86 | 86 | 92 | 96 | 90 | 92 | 92 | 88 | 86 | 92 | 92 | 88 |
| mm 13,5 | 100 : 87 | 87 | 111 | 119 | 100 | 111 | 111 | 93 | 87 | 111 | 111 | 93 |
| mm 17,0 | 100 : 98 | 98 | 130 | 138 | 122 | 130 | 130 | 112 | 98 | 130 | 130 | 112 |

So zeigte sich nicht allein bei allen Steinsalzen ein beträchtlicher Unterschied in dem Durchgange der von den verschiedenen Körpern zurückgeworfenen Wärmestrahlen, sondern auch der Charakter dieses Durchgangs war bei allen Exemplaren derselbe und in vollständiger Uebereinstimmung mit dem, welchen das früher angewandte Steinsalz (von $4^{mm}$,4 Dicke) gezeigt hatte. Ueberall waren die von Platin und schwarzem Papier reflectirten Strahlen in gleichem und geringstem Maafse hindurchgedrungen, dann unter sich in gleichem Verhältnifs die von schwarzem Sammt und grünem Wachstuch zurückgeworfenen, reichlicher die vom Kupferoxyd, weiter hatten sich bei allen Steinsalzen die von Gyps, rothem Tafft, weifsem Sammt, weifser Wolle und Holz reflectirten Strahlen zusammengruppirt, die höchste Stelle hatte bei allen die Durchstrahlung der vom Carmin zurückgeworfenen Wärme eingenommen. Ja dieses charakteristische Verhalten schien sich, namentlich wenn man die Extreme betrachtet, desto vollkommener geltend zu machen, je dicker die durchstrahlte Steinsalzplatte war, gleichfalls in vollständigem Widerspruch mit den von Melloni gemachten Erfahrungen [1]).

Aber ungeachtet jener durchgehenden Uebereinstimmung konnte ich mich des Bedenkens nicht erwehren, ob in den aufgetretenen Verschiedenheiten wirklich ein Beweis für eine, von der Verschiedenartigkeit der einfallenden Strahlen abhängige, ungleiche Durchstrahlbarkeit des Steinsalzes enthalten sey.

Hätte man auch in den drei ersten Fällen, welche die Tabelle darstellt, den reichlicheren Durchgang der Wärme bei gröfserer Dicke des Steinsalzes der gröfseren Klarheit der Masse zuschreiben wollen, so liefs doch diese mit der Dicke wachsende Durchstrahlung in den beiden letzten Fällen, in denen die Klarheit als gleich betrachtet werden

1) (*Mém. de l'Acad.* XIV). — *Annal. de Chim. et de Phys.* LIII, 5; LV, 337. — *Inst.* No. 65, *p.* 264; No. 84, *p.* 410. — (*Le Temps* 12. *Févr.* 1833). — Pogg. Annal. (XXVIII, 376); XXXV, 299, 300, 401, 561; (XXXVIII, 29, 30). — Thermochrôse, 190, 195, 214, 316.



konnte, eine solche Deutung nicht zu. Denn hier war die zum Thermoskop gelangende Wärmemenge meist durch die Einschaltung des Steinsalzes vermehrt worden, es hatte also offenbar an den Seitenwänden der betreffenden Stücke eine innere Reflexion der Strahlen stattgefunden, welche den Absorptionsverlust mehr als ersetzt hatte. Die Steinsalzstücke hatten wie ungleich lange, vor die Thermosäule gestellte, innen reflectirende Röhren, die sonst nach der Seite sich zerstreuenden Strahlen auf die Thermosäule geworfen. Hatte vielleicht diese Nebenwirkung die ganze Verschiedenheit des Durchgangs hervorgerufen, also einen wesentlichen Einfluſs auch in den anderen Fällen geübt? Die Uebereinstimmung der Resultate mit denen des ersten Steinsalzes machte dieſs wieder um so zweifelhafter, als bei diesem, einem trüben, von unebenen Seitenwänden begränzten Stück, das auſserdem die Oeffnung der Thermosäule zu weit überragte, als daſs die innere Reflexion überhaupt Strahlen auf das Instrument hätte richten können, an eine derartige Wirkung gar nicht zu denken war.

Zur Entscheidung bedeckte ich die Steinsalze an der Vorder- wie an der Rückseite mit Blendungen, stanniolbekleideten Pappschirmen mit einem rechteckigen Ausschnitt von $15^{mm}$ Höhe und $10^{mm}$ Breite, wodurch bei den $36^{mm}$ bis $41^{mm}$ hohen und $23^{mm},5$ bis $33^{mm}$ breiten Stücken jede Seitenreflexion unmöglich gemacht wurde. Die quadratische Thermosäule von $14^{mm}$ Seite wurde mit einer ähnlichen Blendung von absichtlich etwas kleinerem Ausschnitt ($14^{mm}$ hoch und $9^{mm}$ breit) versehen.

Wurden die Versuche unter solchen Vorkehrungen wiederholt, so ergab das $6^{mm}$ dicke Steinsalz stets einen Durchgang gleich 80, das Staſsfurther Exemplar von $5^{mm}$ Dicke stets von 87, das von $13^{mm},5$ Dicke von 89 bis 91 Proc. der auf die Vorderfläche derselben auffallenden Wärmemenge, *gleichgültig, von welchem der genannten* 11 *Substanzen die Sonnenstrahlen zurückgeworfen seyn mochten und ob sie überhaupt reflectirt waren oder direct von der Sonne kamen*. *Die vorigen Unterschiede waren also ver-*



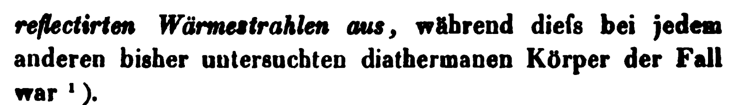


*schwunden.* Mit dem 17mm dicken Steinsalz liefsen sich diese Versuche nicht anstellen, weil es unmöglich war, eine Anordnung zu treffen, bei der nicht die Blendungen unmittelbar einen Theil der Strahlen auf eine ungehörige Weise zurückhielten, während sie doch nur die gedachte Nebenwirkung verhindern sollten.

*Bei dem älteren, 4mm,4 dicken Steinsalz blieben die Verschiedenheiten auch unter Anwendung der Blendungen bestehen.*

Die vorher wahrgenommenen Verschiedenheiten, wie sie bei dem gewöhnlichen Verfahren aufgetreten, waren sonach auf eine blofse *Richtungsverschiedenheit* der zu den Steinsalzen gelangenden Wärmestrahlen zurückzuführen. Die vom Platin und schwarzen Glanzpapier reflectirten mochten so wenig vom Parallelismus abweichen, dafs sie gar nicht die Seitenwände der Steinsalzparallelepipeda trafen. Die bei der intensiven Reflexion vom Metall erforderliche Schmälerung des in das Zimmer eintretenden Strahlenbündels beschränkte sie bei jenem um so mehr auf die Mitte der zu durchdringenden Platte und in diesem Falle war es daher auch ohne Einflufs, ob die Steinsalze mit den Blendungen versehen wurden oder nicht. Je diffundirender aber die rauhe Fläche und je gröfser die Ausbreitung des auf sie fallenden Strahlenkegels war, um so sicherer erreichten die Strahlen die Seitenwände der Steinsalzstücke, die sie nun, nach Beschaffenheit ihrer mehr rauhen oder glatten Flächen diffus oder unter bestimmtem Winkel in die Säule hineinreflectirten. Es leuchtet ein, wie sich auch hierbei, unter der Gleichmäfsigkeit des Verfahrens, eine gewisse Uebereinstimmung besonderer Fälle ergeben konnte, wie aber unter so mannigfachen Bedingungen eine einfache Beziehung zu der Dicke der Steinsalzstücke nicht zu erwarten war, wenn zwar im Allgemeinen eine gröfsere Dicke dem betreffenden Vorgange günstiger war, als eine geringere, wie eine längere Röhre einflufsreicher als eine kurze.

*Jedenfalls übten die klaren Steinsalzplatten an sich keine ungleiche Absorption auf die so verschiedenartigen, diffus*





*reflectirten Wärmestrahlen aus*, während diefs bei jedem anderen bisher untersuchten diathermanen Körper der Fall war [1]).

Die Frage nach der Ursache der bei dem *trüben Steinsalz* fortbestehenden Verschiedenheiten blieb noch als eine ungelöste übrig.

2. Ein zweites Mittel, verschiedenartige Wärme sich zu verschaffen, besteht darin, die Sonnenstrahlen *durch ungleiche diathermane Schirme hindurchgehen* zu lassen. So ist z. B. die durch ein rothes Glas hindurchgestrahlte Sonnenwärme von der durch ein grünes Glas gegangenen verschieden, und diese ungleiche Beschaffenheit beider bewirkt, dafs sie einen zweiten diathermanen Schirm, wenn derselbe überhaupt eine auswählende Absorption auf sie ausübt, in ungleichem Verhältnifs durchdringen. So gehen jene in dem Verhältnifs von 73, diese in dem von 63 Proc. der einfallenden Strahlen durch ein zweites rothes Glas; dagegen jene in dem Verhältnifs von 5, diese in dem von 14 Proc. durch ein zweites grünes Glas hindurch.

Die Sonnenstrahlen wurden der Reihe nach durch ein dunkelrothes, hellrothes, grünes, blaues, gelbes, farbloses, schwarzes undurchsichtiges Glas, Gyps, Alaun, Kalkspath und Steinsalz hindurchgelassen, oder gelangten direct zur Thermosäule. Es fragte sich, ob Steinsalz, in den Gang dieser verschiedenartigen Strahlen eingeschaltet, allen einen gleichmäfsigen Durchlafs gestatten würde.

Diese Methode bietet vor der ersteren den wesentlichen Vortheil dar, dafs sie den Sonnenstrahlen ihre parallele Richtung läfst und damit die ganze, vorher von der Divergenz der Strahlen herrührende Nebenwirkung vermieden wird. Die Ausbreitung der Strahlen beim Reguliren der ersten constanten Ablenkung, welche durch Verengerung oder Erweiterung eines Spalts mittelst Mikrometerschraube bewirkt wurde, war nie eine solche, dafs beim

1) Monatsber. d. Berl. Acad. 1845, S. 170. — *De calore radiante disquisitiones cet. p.* 54 sqq. — Pogg. Annal. LXV, 581 ff.; LXXI, 1 ff.; CI, 179 ff.; CIX, 595 ff.





Einstellen der Steinsalzstücke deren Seitenwände hätten getroffen werden können. Die zuvor nothwendigen Blendungen wurden daher jetzt als überflüssig fortgelassen. Somit war auch kein Hindernifs, das Steinsalz in beliebiger Dicke der Prüfung zu unterwerfen. Die Verschiedenartigkeit der demselben gebotenen Wärmestrahlen konnte bei dieser Versuchsreihe nicht als geringer denn bei der vorigen betrachtet werden.

Folgendes sind die (streng nur für ein und dasselbe Steinsalz vergleichbaren) Werthe, welche die Beobachtung ergeben hat.

| Steinsalze von der Dicke: | Verhältniſs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, nach der Durchstrahlung von: | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | bei directer Sonnen-wärme. | dunkelrothem Glase. | hellrothem Glase | grünem Glase. | blauem Glase. | gelbem Glase. | farblosem Glase. | schwarzem Glase. | Gyps. | Alaun. | Kalkspath. | Steinsalz (von der Dicke) |
| mm 6,0 | 100 : 83 | 83 | 83 | 82 | 82 | 82 | 82 | 82 | 83 | 82 | 83 | mm (13,5) 83 |
| mm 5,0 | 100 : 90 | 90 | 90 | 89 | 90 | 90 | 90 | 89 | 90 | 90 | 90 | (4,4) 90 |
| mm 13,5 | 100 : 88 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | (5,0) 87 |
| mm 17,0 | 100 : 94 | 94 | 95 | 94 | 95 | 94 | 94 | 94 | 95 | 94 | 94 | (6,0) 94 |

Aus diesen Zahlen geht aufs Unzweideutigste hervor, dafs *die klaren Steinsalzstücke alle diese verschiedenartigen Wärmestrahlen auf völlig gleiche Weise hindurchlassen, sie mögen direct von der Sonne kommen, oder irgend einen diathermanen Schirm durchstrahlt haben.*

Das trübe Steinsalz ist, als nicht dazu gehörig, von dieser Uebersicht ausgeschlossen worden.

Es liegt in den eben erhaltenen Resultaten eine neue Bestätigung dafür, dafs die oben gedachten, bei den klaren Steinsalzen aufgetretenen, Verschiedenheiten in der That nur von jener Nebenreflexion herrührten.

3. Um die Untersuchung möglichst zu erschöpfen, wandte ich auch noch das dritte Verfahren an, welches ungleichartige Wärmestrahlen liefert, indem ich mit *Strahlen verschiedener Wärmequellen* experimentirte. Es lag hierin zugleich eine Verfeinerung der Prüfung, indem auf solche Weise die *gröfstmöglichen Unterschiede in den Eigenschaften der Wärmestrahlen* in den Bereich derselben aufgenommen wurden. Ein, wenig über 100° C. erhitzter, Metallcylinder, von dem nur eine einzige Art Wärmestrahlen [1]) ausgeht, auf der einen, und die Sonne mit einer unendlichen Mannigfaltigkeit von Strahlen [2]) auf der andern Seite bilden die Extreme, deren man sich überhaupt bedienen kann. Ein Vergleich des Durchgangs dieser Strahlen ist überdiefs beim Steinsalz noch nicht angestellt worden. Als eine zwischen ihnen stehende Wärmequelle wurde noch die Argand'sche Lampe ohne Glascylinder hinzugenommen.

Freilich trat hier der Einflufs der Divergenz der von den mehr oder minder entfernten irdischen Quellen ausgehenden Wärmestrahlen wieder in seiner ganzen Stärke hervor und hätte die gröfste Verwirrung in den Resultaten

1) *De calore radiante disquisitiones cet. p.* 95. — Monatsber. d. Berl Acad. 1846, S. 365. — Pogg. Annal. LXXI, 61; CI, 194.

2) Pogg. Annal. CI, 181, 195; CIX, 601. — Eine Mannigfaltigkeit, welche bei den Versuchen weder durch den unvermeidlichen *Heliostatenspiegel* (Pogg. Ann. CI, 189—191), noch durch ein zum Schutz gegen Windstöfse bisweilen in der Fensterlade angebrachtes dünnes *Glimmerblatt* (Pogg. Ann. CIX, 601, 602) beeinträchtigt wurde.

und die vollständigste Täuschung über die eigentlichen Absorptionsverhältnisse herbeigeführt, wäre er nicht durch besondere Vorkehrungen beseitigt worden. An einem zwischen Wärmequelle und Thermosäule aufgestellten, in der Höhe beider durchbrochenem Metallschirm wurde auf Seiten der ersteren eine 171$^{mm}$ lange, innen mit schwarzem Papier bekleidete Röhre angebracht, um durch sie alle von der Axe wesentlich abweichenden Strahlen entweder direct auszuschliefsen oder nach dem Eintritt möglichst zu absorbiren. Auch die Säule wurde noch mit einem 70$^{mm}$ langen metallenen Ansatzrohre versehen und erst auf dieses die vorbezeichnete Stanniolblendung aufgesetzt. Zwischen ihr und dem Metallschirm blieb ein Raum von 40$^{mm}$ bis 50$^{mm}$ zum Einschalten der Steinsalze frei, welche gleichfalls mit ihren Blendungen versehen wurden. Unter solchen Umständen gelangten auf so weitem, noch durch den Abstand der Wärmequelle von der geschwärzten Röhre verlängertem Wege nur Strahlen von hinreichend gleicher Richtung direct oder durch die Steinsalze zur Säule. Bei späterer Wiederholung der Versuche zeigte sich die Anbringung von drei, mit Ausschnitt versehenen Schirmen auf dem Wege der Wärmestrahlen auch ohne geschwärzte Röhre und ohne Blendung an den Steinsalzen als ausreichend. Wie vollständig beide Male der Zweck, jede innere Reflexion an den Seitenflächen der Steinsalze zu verhindern, erreicht war, geht unter Anderem daraus hervor, dafs bei einem 7$^{mm}$ dicken Stück, welches die Form einer abgestumpften Pyramide erhalten, und daher wie ein, die Strahlen auffangender, Trichter hätte wirken können, es nach jenen Vorkehrungen ohne Einflufs war, ob die breitere oder schmalere Fläche den Wärmequellen zugekehrt wurde.

Die Ergebnisse der Beobachtung, welche (neben den obigen) aufser auf dieses 7$^{mm}$ dicke noch auf ein 22$^{mm}$,5 dickes Stück von Stafsfurth ausgedehnt wurde, sind in der nachstehenden (unter so veränderten Umständen mit der vorigen nicht vergleichbaren) Uebersicht zusammengestellt.

| Steinsalze von der Dicke: | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: | | |
|---|---|---|---|
| | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
| mm 6,0 | 100 : 77,5 | 77,0 | 77,5 |
| 5,0 | 100 : 83,0 | 83,0 | 83,0 |
| 7,0 | 100 : 79,0 | 79,0 | 79,0 |
| 13,5 | 100 : 77,5 | 78,0 | 78,0 |
| 22,5 | 100 : 68,5 | 69,0 | 68,5 |
| 17,0 | 100 : 73,0 | 73,0 | 73,0 [1]) |

*Sonach gingen auch die Strahlen der verschiedenartigsten Wärmequellen durch die klaren Steinsalze in ganz gleichem Verhältnifs hindurch.*

*Bei dem, zu den früheren Versuchen benutzten, trüben Steinsalze (von 4$^{mm}$,4) Dicke behaupteten sich auch hier Verschiedenheiten.*

Je mehr die erhaltenen Resultate den eigenen Erwartungen zuwiderliefen, um so fester begründete eine dieser Versuchsreihen nach der andern in mir die Ueberzeugung, *dafs Melloni's Ausspruch, wonach reines klares Steinsalz sich gegen strahlende Wärme bei der gewöhnlichen Temperatur wie ein farblos durchsichtiger Körper gegen Licht verhalte, in seiner ganzen Ausdehnung durch die*

1) Die in den Tabellen mitgetheilten Zahlen sind arithmetische Mittel aus mehreren Beobachtungen. Nie ist ein Resultat als sicher betrachtet worden, wenn es nicht bei mindestens viermaliger Anstellung des Versuchs jedesmal sich bestätigt hatte. In den meisten Fällen ist es jedoch, wegen mehrfacher Vergleiche, oder wenn ihm ein besonderer Werth beigelegt wurde, oder weil es von den Behauptungen Anderer abwich, usw., wohl doppelt so oft wiederholt worden und so stellt (da jede Durchstrahlungs - Ermittelung vier besondere Beobachtungen erfordert (Pogg. Ann. LXXXV, 170; XCIII, 166; CI, 165) ein in den Tabellen aufgeführter Werth meist das Ergebnifs aus 32 einzelnen Ablesungen am Thermomultiplicator dar.

*Erfahrung bestätigt sey.* Gegenüber den anderen Behauptungen, welche ebenfalls auf Thatsachen sich stützen, werde ich zu den bereits angeführten, im Folgenden noch weitere Vorgänge mittheilen, welche derartige Beobachtungen herbeiführen, ohne zu den Schlüssen zu berechtigen, welche daraus gezogen worden sind.

---

Der Nachweis des gleichmäfsigen Durchgangs jeder Art von Wärmestrahlen durch die geprüften Steinsalze liefs es von Interesse erscheinen, gerade an diesen und zwar namentlich den durch ihre Homogeneität sich auszeichnenden Exemplaren von Stafsfurth und Wilhelmsglück, *die Wärmeverhältnisse* zu untersuchen, *welche die verschiedenen Sonnenstrahlen getrennt von einander darbieten* würden.

Melloni [1]), welcher das *Sonnenspectrum* zuerst mittelst eines *Steinsalzprismas* dargestellt hat, fand das *Wärmemaximum* jedesmal *im dunkeln Raum neben dem Roth*, jedoch seinen *Abstand* vom sichtbaren Theile an verschiedenen Tagen wegen des ungleichen absorbirenden Einflusses der Erd-Atmosphäre *nicht völlig constant.* Mit seinen Resultaten stimmen die seitdem von Franz [2]) und Müller [3]) angestellten und in ihren Messungen genauer mitgetheilten Versuche überein, deren erstere auch die in verschiedenen Jahres- und Tageszeiten *wechselnden Intensitäts-Verhältnisse* näher bezeichnen.

Um auf möglichst normale Verhältnisse rechnen zu können, wurden die Versuche in den Mittagsstunden eines vollständig wolkenfreien Julitages (17. Juli 1860) angestellt. Die von dem Heliostatenspiegel in horizontaler Richtung

1) *Compt. rend.* XVIII, 39. — (*Mém. de l'Acad.* XIV.) — *Inst.* No. 84, *p.* 410. — (*Le Temps* 12. *Févr.* 1833.) — (*Antologia di Firenze.*) — *Annal. de Chim. et de Phys.* LIII, 5; LX, 418; LXXII, 334. — Pogg. Annal. (XXVIII, 377); XXXV, 306, 307, 561; (XXXVI, 532); XXXVII, 489; (XXXIX, 557, 559); XXXXIX, 586; LXII, 22.

2) Programm des Berl. Gymnas. zum grauen Kloster 1858, S 11—14. Pogg. Annal. CXV, 269, 270, 275—279.

3) Einladungs-Programm der Univ. Freiburg 1858, S 31—33. — Pogg. Annal. CV, 350—352.





in das finstere Zimmer eintretenden Sonnenstrahlen wurden durch zwei, 93$^{cm}$ von einander entfernte, von s'Gravesande'schen Schneiden gebildete Spalte hindurchgelassen, deren erster, in der Fensterlade befindlicher 1$^{mm}$,8, der zweite 1$^{mm}$,6 weit war. — 10$^{cm}$ von dem letzteren war das Prisma, 40$^{cm}$ von diesem die Thermosäule aufgestellt. Das prismatische Sonnenbild stand im Minimum der Ablenkung; die quadratische Säule war durch metallene, vorn auf beiden Seiten der Fassung angebrachte, Flügel bis auf 4$^{mm}$ Breite begränzt und wurde durch das Spectrum hindurchgerückt, indem sie auf einer Bahn mit Mikrometerschraube jedesmal um die Strecke von 4$^{mm}$ verschoben wurde, so daſs immer eine Stellung derselben unmittelbar an die vorhergehende sich anschloſs.

Die so bei einem *Prisma von* 60° *brechenden Winkels aus Staſsfurther Steinsalz* erhaltenen Ablenkungen am Multiplicator waren diese:

| | |
|---|---|
| im Violett . . . . . . | 0,25 |
| » Blau . . . . . . . . | 0,45 |
| » Grün . . . . . . . . | 0,60 |
| » Gelb . . . . . . . . | 0,70 |
| » Orange . . . . . . | 1,00 |
| » Roth (bis zur Gränze) . | 1,30 |
| in der ersten dunklen Zone | 1,70 |
| » » zweiten » » | 1,25 |
| » » dritten » » | 0,35 |

Bei den folgenden Versuchen wurde jedem der beiden Schlitze eine Weite von 2$^{mm}$ gegeben. Das eine der nun angewandten Steinsalze, gleichfalls aus Staſsfurth, hatte 40°, das andere von Wilhelmsglück 45° brechenden Winkels. Beide übertrafen das vorige an Klarheit, das letztere namentlich zeigte keine Spur einer diffundirenden Wirkung. Die Thermosäule war 70$^{cm}$ vom Prisma entfernt. Die Angaben des Multiplicators sind in der nachstehenden Uebersicht enthalten.

| Steinsalz-Prisma von: | 40°. | 45°. | arith. Mittel. |
|---|---|---|---|
| in der zweiten Zone jenseit des Violett | 0,00 | 0,25 | 0,13 |
| » » ersten » (bis zur Gränze) | 0,10 | 0,30 | 0,20 |
| im Violett | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| » Indigo | 0,80 | 0,75 | 0,78 |
| » Blau | 0,90 | 0,85 | 0,88 |
| » Grün | 1,05 | 0,95 | 1,00 |
| » Gelb und Orange | 2,00 | 1,20 | 1,60 |
| » Roth (bis zur Gränze) | 2,25 | 1,80 | 2,02 |
| in der ersten dunkeln Zone jens. des Roth | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| » » zweiten » » » » » | 2,20 | 1,75 | 1,98 |
| » » dritten » » » » » | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| » » vierten » » » » » | 0,25 | 0,25 | 0,25 |

*Sonach trat bei allen diesen Steinsalzprismen das Wärmemaximum an derselben Stelle, nämlich bei den, durch die prismatische Zerlegung in die erste dunkle Zone neben dem Roth gelangenden, Wärmestrahlen auf;* ein Resultat, welches, so weit es vergleichbar ist, mit denen von Melloni, Franz und Müller übereinstimmt. Zum Vergleich untersuchte ich an dem nämlichen Tage noch die Vertheilung der Wärme in einem, durch ein gleichseitiges *Flintglasprisma* dargestellten, Sonnenspectrum, dessen gröfsere Ausdehnung gestattete, die Thermosäule zu einer Breite von 7$^{mm}$ den Strahlen zu öffnen, womit ein jedesmaliges Fortrücken um gleichfalls 7$^{mm}$ zusammenhing. Dabei zeigte sich:

| | |
|---|---|
| in der ersten dunkeln Zone neben dem Violett | 0,25 |
| im Violett | 0,25 |
| » Indigo | 0,50 |
| » Blau | 0,60 |
| » Grün | 0,70 |
| » Gelb und Orange | 1,00 |
| » Roth (bis zur Gränze) | 1,25 |
| in der ersten dunkeln Zone neben dem Roth | 1,25 |
| » » zweiten » » » » » | 1,00 |
| » » dritten » » » » » | 0,35 |
| » » vierten » » » » » | 0,25 |





wonach *das Wärmemaximum dem Roth näher lag*, als in dem Spectrum des Steinsalzprismas. *Innerhalb des sichtbaren Theiles stimmen*, wenn zwar das dickere Glas im Ganzen eine gröfsere Absorption ausübte, *die Wärmeverhältnisse beim Steinsalz- und Flintglasprisma überein*, wie aus der folgenden Reduction, in welcher die Wärme im Roth (bei jenem 2,02, bei diesem 1,25) gleich 100 gesetzt worden ist, und deren Abweichungen die Beobachtungsfehler nicht übersteigen, um so leichter zu ersehen ist.

| | Spectrum des Prismas von | |
|---|---|---|
| | Steinsalz. | Flintglas. |
| Violett | 25 | 20 |
| Indigo | 39 | 40 |
| Blau | 44 | 48 |
| Grün | 50 | 56 |
| Gelb und Orange | 79 | 80 |
| Roth | 100 | 100. |

Aehnliches ist von Franz [1]) am Flint- und von Müller [2]) am Crownglas beobachtet worden. Es war diefs auch nach einer früher von mir angestellten Untersuchung [3]) zu erwarten, nach welcher das Verhältnifs der Temperaturen in den verschiedenen Theilen eines Sonnenspectrums (welches bis zum Auftreten der Fraunhofer'schen Linien rein dargestellt worden war) innerhalb des sichtbaren Farbenbildes ein und dasselbe blieb, durch welche farblose Substanz: Glas, Gyps, Alaun usw. die Strahlen auch hindurchgegangen seyn mochten, während es sich, gemäfs dem Verhältnifs der sichtbaren Strahlen zu einander, änderte, wenn eine farbige Platte auf ihrem Wege eingeschaltet

1) Programm des Berl. Gymn. z. gr. Kl. 1858, S. 12. — Pogg. Annal. CXV, 269, 270.

2) Einladungsprogramm der Univ. Freiburg 1858, S. 28 ff., besonders S. 33. — Pogg. Annal. CV, 347 ff., besonders 351.

3) Originalmittheilung in: Fortschr. der Phys. usw. i. J. 1847, S. 265, 266, woselbst sie von Denen, welche sich später mit derselben Frage beschäftigt haben, übersehen worden ist.

wurde; eine Beobachtung, welche von **Masson** und **Jamin**[1]) so wie von **Franz**[2]) bestätigt worden ist.

**II. Steinsalz mit matter Oberfläche, verglichen mit andern diffundirenden Substanzen.**

Eine Untersuchung des *Durchgangs verschiedenartiger Wärmestrahlen durch mattes Steinsalz und andere, vermöge ihrer Oberflächenbeschaffenheit oder inneren Structur, trübe Medien* ist zuerst von **Forbes**[3]), dann auf Anlafs seiner Ergebnisse, von **Melloni**[4]) angestellt worden.

Beide stimmen hinsichtlich der *Thatsachen* darin überein, dafs matte oder trübe Substanzen die Wärmestrahlen von niederer Temperatur oder geringerer Brechbarkeit reichlicher zu einem, hinter ihnen aufgestellten Thermoskop gelangen liefsen, als die aus einer Wärmequelle höherer Temperatur stammenden oder stärker brechbaren. In Betreff der *Anschauung* des dabei stattfindenden Vorgangs weichen sie jedoch wesentlich von einander ab.

**Forbes** ist geneigt, eine durch die mechanische Structurveränderung bedingte, ungleiche Absorption der verschiedenartigen Wärmestrahlen[5]) anzunehmen, bei der vielleicht auch die Diffraction[6]) eine Rolle spiele, erklärt jedoch den in vieler Hinsicht dunkeln[7]) Gegenstand als nicht erschöpft, indem es ihm nicht gelungen sey, ein gemeinsames Princip zur Erklärung der mannigfachen, in seiner umfangreichen (auch auf Pulver, Gitter, Netze usw. ausgedehn-

1) *Comp. rend.* XXXI, 14.
2) Pogg. Annal. CI, 65—67. — Programm des Berl. Gymn. z. gr. Kl. 1858, S. 10.
3) *Transact. of the Roy. Soc. of Edinburgh, Vol. XV, pt. I.* — *Proceedings of the Roy. Soc. of Edinburgh* 1840. — *Compt. rend.* X, 19. — Pogg. Annal. LI, 88, 387, 406.
4) *Compt. rend.* X, 537, 826. — *Annal. de Chim. et de Phys.* LXXV, 374. — Pogg. Annal. LIII, 47.
5) Pogg. Annal. LI, 90, 91, 103, 104—109.
6) Pogg. Annal. LI, 91, 92, 399.
7) Pogg. Annal. LI. 402.

ten) Versuchsreihe wahrgenommenen Erscheinungen aufzufinden [1]).

Melloni behauptet dagegen, dafs bei jenem Durchgange eine, auf auswählender Absorption beruhende, Aenderung nicht mit der Wärme vorginge [2]), vielmehr die Strahlen verschiedener Art durch einen und denselben diffundirenden Schirm nur eine ungleiche Zerstreuung erführen [3]) womit es zusammenhinge, dafs das Thermoskop ein Mal von einer gröfseren, das andere Mal von einer geringeren Menge derselben getroffen würde.

Bei dieser Lage der Sache war es von Interesse, die Untersuchung wieder aufzunehmen, eine Untersuchung — so einfach sie auf den ersten Blick erscheint — der mühevollsten und zeitraubendsten Art, die ich je ausgeführt habe.

Es kam mir zunächst darauf an, mich über das Factum selbst zu unterrichten. Forbes und Melloni haben mit mattem Steinsalz und durch Hitze aufgeblättertem so wie geritztem Glimmer bei Wärmequellen experimentirt, deren Extreme eine solche von 100° C. und eine Locatellische Lampe waren.

Um sowohl den Einflufs der *Oberfläche* als den einer *inneren Trübung* der Masse beurtheilen zu können, stellte ich Versuche mit homogenem Steinsalz bei mattgeschliffener Oberfläche, und mit polirtem Steinsalz bei innerer Trübung an; ferner mit farblosem Glase bei ein- und zweiseitig matter Oberfläche einerseits, mit Milchgläsern verschiedener Trübung von spiegelglatter Oberfläche andererseits. Auch wurde aufser der Wärme eines dunkelheifsen Metalls und der Lampe, die der Sonne bei den Versuchen benutzt.

Die Anordnung dieser war im Wesentlichen die oben (S. 189, 190) beschriebene, nur wurde, um die irdischen Wärmequellen der Thermosäule mehr nähern zu können, die vor den diathermanen Platten befindliche 171$^{mm}$ lange Röhre

1) Pogg Annal. LI, 400, 405.
2) Pogg. Annal. LIII, 51.
3) Pogg. Annal. LIII, 48, 54, 56, 57, 59, 60.





mit einer ebenfalls innen geschwärzten von 92$^{mm}$ Länge vertauscht.

Die Resultate der ersten Versuchsreihe sind in der nachstehenden Tabelle enthalten, in welcher die vor dem Einschalten der *matten oder trüben Steinsalze* am Thermomultiplicator beobachtete Ablenkung gleich 100 gesetzt und auf diesen Werth wieder die nach dem Einschalten wahrgenommene bezogen worden ist.

| Steinsalze von folgender | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: | |
|---|---|---|---|
| Beschaffenheit. | Dicke. | der Sonne. | dem heifsen Metallcylinder. |
| | mm | | |
| innen klar, aufsen rauh. | 6,0 | 100 : 55,5 | 72 |
| innen trübe, aufsen polirt | 25,0 | 100 : 50,0 | 57 |
| dasselbe Stück, den Strahlen eine gröfsere Dicke darbietend. | 42,0 | 100 : 42,0 | 56 |
| das ältere Stück, sowohl innen unklar, als aufsen uneben. | 4,4 | 100 : 47,5 | 49 |

*Durch rauhe wie durch trübe Steinsalze gehen also die Sonnenstrahlen in geringerem Maafse hindurch als die Strahlen einer Wärmequelle von etwa* 100° *C.*, der erste, bisher beobachtete Fall dieser Art, indem sonst immer die Sonnenstrahlen bei Weitem reichlicher als irgend andere, namentlich aber als dunkle Wärmestrahlen, die diathermanen Körper durchdringen.

Den Einflufs *verschiedenen Grades der Rauheit der Oberfläche* ermittelt die folgende Reihe, deren gleich dicke Platten aus demselben klaren Stück *Steinsalz* geschnitten sind.

| Steinsalze von folgender | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: | | |
|---|---|---|---|---|
| Beschaffenheit. | Dicke. | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
| auf beiden Seiten natürliche Krystallflächen. | mm 6 | 100 : 79 | 79 | 79 |
| auf einer Seite matt geschliffen. | 6 | 100 : 47 | 69 | 74 |
| auf beiden Seiten matt geschliffen. | 6 | 100 : 27 | 60 | 69 |

***Die vermehrte Rauheit der Oberfläche schwächt also in steigendem Maafse den Durchgang jeder Art von Wärmestrahlen, aber sie beeinträchtigt hierbei am meisten die Sonnenwärme, weniger die der Argand'schen Lampe, am wenigsten die Wärme des heifsen Metallcylinders.***

Das dadurch herbeigeführte zunehmende Ueberwiegen in der Durchstrahlung der letzteren tritt noch deutlicher hervor, wenn die Durchgänge der ersteren einander gleich z. B. alle gleich 100 gesetzt werden, wie diefs in der nachstehenden Reduction geschehen ist.

| Steinsalze von folgender | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, bei: | | |
|---|---|---|---|---|
| Beschaffenheit. | Dicke. | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
| auf beiden Seiten natürliche Krystallflächen. | mm 6 | 100 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt geschliffen. | 6 | 100 | 147 | 158 |
| auf beiden Seiten matt geschliffen. | 6 | 100 | 223 | 256 |

**Versuche, welche in derselben Absicht mit *farblosem Glase* von gleicher Masse und Dicke, *bei verschiedener Rauheit* angestellt worden sind, führten zu folgenden Resultaten:**





| Gläser von folgender Beschaffenheit. | Dicke. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei: der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
|---|---|---|---|---|
| auf beiden Seiten polirt. | mm 2 | 100 : 78 | 44 | 12 |
| auf einer Seite matt geschliffen. | 2 | 100 : 41 | 32 | 11 |
| auf beiden Seiten matt geschliffen. | 2 | 100 : 29 | 25 | 9 |

Da die Masse des Glases, wie aus der ersten Zahlenreihe ersichtlich, den verschiedenen Wärmestrahlen einen sehr ungleichen Durchgang und zwar in einem Sinne gestattet, welcher dem Einflufs der Rauheit der Oberfläche gerade entgegengesetzt ist, so mufs jene thermochroische Wirkung des Glases zuvor eliminirt werden, um diesen für sich übersehen zu lassen. Es sind daher durch Gleichsetzen der Werthe jener ersten Zahlenreihe, diejenigen Verhältnisse ermittelt worden, welche sich ergeben hätten, wenn das farblose Glas an sich den Strahlen aller drei Wärmequellen eine ganz gleiche Durchstrahlung gewährte.

| Gläser von folgender Beschaffenheit. | Dicke. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei: der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
|---|---|---|---|---|
| auf beiden Seiten polirt. | mm 2 | 100 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt geschliffen. | 2 | 100 | 138 | 174 |
| auf beiden Seiten matt geschliffen. | 2 | 100 | 154 | 203 |

*So tritt auch hier die Wirkung der zunehmenden Rauheit in der bezeichneten Weise aufs Entschiedenste hervor.*

Bei den *Milchgläsern,* mit gleicher *glatter Oberfläche,* aber von *verschiedener innerer Trübung* und ungleicher **Dicke,** bot es Schwierigkeiten dar, von vorn herein eine bestimmte Reihenfolge aufzustellen. Die Beurtheilung der

Trübung von optischer Seite bildete, mit Ausnahme der extremen Fälle, gar keinen sicheren Anhalt. So machte ich z. B. bei dieser Gelegenheit die mir neue und auffallende Erfahrung, dafs von zwei, auf einen nahen Gegenstand, z. B. eine Schrift, gelegten Milchgläsern das eine dieselbe viel undeutlicher durchblicken liefs als das andere, während, auf einen fernen Gegenstand gerichtet, gerade umgekehrt das letzte, anfangs durchsichtigere, entschieden trüber war als das erste. Eine Anordnung nach der Dicke hätte keinen Sinn gehabt, weil die dickeren zum Theil weniger trübe waren als die dünneren. Willkührlich wurden daher, nur um sie unterscheiden zu können, die betreffenden Milchgläser mit I, II, III und IV bezeichnet, in der Hoffnung, aus den thermischen Ergebnissen selbst einen Gesichtspunkt für ihre nachherige Anordnung zu gewinnen.

Der Gleichmäfsigkeit des Verfahrens halber, versah ich sie Anfangs, wie die Steinsalze und Gläser, auf jeder Seite mit einer Blendung. Bei einer controlirenden Versuchsreihe (wie auch in späteren Fällen) wurden diese jedoch fortgelassen, da sie bei den, die Thermosäule weit überragenden Platten als unnöthig erschienen und ihre Anbringung bei den kaum durchscheinenden möglicherweise Ungenauigkeiten herbeiführen konnte.

Beide Versuchsreihen sind in der nachstehenden Uebersicht enthalten.

| Milchgläser. | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Milchgläser mit Blendungen zur Thermosäule gelangten, bei: | | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Milchgläser ohne Blendungen zur Thermosäule gelangten, bei: | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Dicke. | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
| | mm | | | | | | |
| I. | 1,00 | 100 : 22,0 | 39 | 14 | 100 : 25,0 | 45,5 | 17 |
| II. | 1,75 | 100 ; 27,5 | 32 | 9 | 100 : 32,5 | 40,0 | 11 |
| III. | 1,20 | 100 : 27,5 | 39 | 14 | 100 : 32,5 | 45,5 | 17 |
| IV. | 1,50 | 100 : 17,0 | 30 | 9 | 100 : 21,0 | 36,0 | 11 |

Um diese complicirten Verhältnisse besser überblicken zu können, sind sie so reducirt worden, dafs die jedesmal hindurchgelassene Sonnenwärme gleich 100 gesetzt worden ist. Sie stellen sich alsdann folgendermafsen dar:

| Milchgläser. | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser mit Blendungen durchstrahlen, bei: | | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser ohne Blendungen durchstrahlen, bei: | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Dicke. | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
| | mm | | | | | | |
| I. | 1,00 | 100 | 177 | 64 | 100 | 182 | 68 |
| II. | 1,75 | 100 | 116 | 33 | 100 | 123 | 34 |
| III. | 1,20 | 100 | 142 | 51 | 100 | 140 | 52 |
| IV. | 1,50 | 100 | 176 | 53 | 100 | 171 | 52 |

Hieraus geht unverkennbar hervor, dafs der Einflufs der Trübung, wenn er wie beim Steinsalz dahin wirkt, den Durchgang der Wärmestrahlen bei der Argand'schen Lampe mehr zu begünstigen als bei der Sonne und beim erhitzten Metallcylinder mehr als bei den beiden anderen Wärmequellen, das Milchglas No. II diesen Einflufs am wenigsten geübt hat, mehr No. III, noch mehr No. IV, und am meisten No. I. Es wird daher dem Vorigen entsprechen, sie in dieser Reihenfolge aufzuführen und um die Ungleichheit des Durchgangs der verschiedenen Wärmequalitäten zu eliminiren, die Werthe der ersten Reihe wieder gleich zu setzen. So gestalten sich die Verhältnisse wie folgt:

| Milchgläser. | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser mit Blendungen durchstrahlen, bei: | | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser ohne Blendungen durchstrahlen, bei: | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Dicke. | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
| | mm | | | | | | |
| II. | 1,75 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| III. | 1,20 | 100 | 122 | 155 | 100 | 114 | 153 |
| IV. | 1,50 | 100 | 152 | 161 | 100 | 139 | 153 |
| I. | 1,00 | 100 | 153 | 194 | 100 | 148 | 200 |

Hiernach stellt sich ganz dieselbe Gesetzmäfsigkeit wieder heraus, wie sie bei den trüben Steinsalzen, und entsprechend bei Steinsalz und farblosem Glase für verschiedene Grade der Rauheit sich ergeben hatte. Ja die Steigerung, welche in jeder horizontalen und jeder verticalen Reihe auftritt, wäre durch noch höhere Zahlen vertreten gewesen, wäre nicht durch das Gleichsetzen der Werthe in der ersten Reihe, mit dem Antheil der auswählenden Absorption zugleich (unvermeidlicher Weise) der der Trübung des Milchglases II mit eliminirt worden. Jene Uebersicht sollte eigentlich den Einflufs der Trübung auf ein nicht milchiges Milchglas beziehen; so stellt sie nur die Wirkung der gröfseren Trübung der Milchgläser III, IV und I im Vergleich mit II dar. Dafs in sämmtlichen, bei der Gleichartigkeit ihrer Masse, im Allgemeinen eine gleiche auswählende Absorption vorausgesetzt worden ist, wird um so weniger Anstofs erregen, wenn man einen Blick auf die ursprünglichen Beobachtungswerthe (S. 201) wirft, aus denen der gleichmäfsige Charakter in der Durchstrahlung (z. B. die reichlichste bei der Argand'schen Lampe, weniger reichlich bei der Sonne, noch weniger beim erhitzten Cylinder) bei allen vier Milchgläsern aufs Deutlichste hervortritt.

Das gleiche Verhalten des Steinsalzes gegen jede Art von Wärmestrahlen gewährt bei dieser Untersuchung den grofsen Vortheil, die Wirkung der mechanischen Verschiedenheiten unmittelbar übersehen zu lassen.

Mögen nun aber alle drei Wärmequellen, hinsichtlich der Durchstrahlung durch die glatte und ungetrübte Masse, einander so gleich stehen wie beim Steinsalz, oder die Sonne sich obenan stellen, wie beim farblosen Glase, oder die Argand'sche Lampe, wie beim Milchglase, die Gesammtheit der mitgetheilten Versuche hat, um es zusammenzufassen, erwiesen, dafs *jede mechanische Beschaffenheit, welche eine diffundirende Wirkung auf die Strahlen ausübt, sey es durch äufsere Rauheit oder innere Trübung, an sich eine verhältnifsmäfsig gröfste Hemmung den Sonnenstrahlen, eine geringere denen der Argand'schen Lampe, die ge-*





*ringste denen des dunkelheifsen Metallcylinders entgegenstellt.*

*Es ist hierin ein Mittel gegeben, selbst den Grad der Diffusion bei verschieden trüben Substanzen auf thermischem Wege zu ermitteln.*

Die von Forbes und Melloni gemachten *Beobachtungen* sind hierdurch nicht allein bestätigt, sondern noch durch auffälligere Beispiele erweitert, auch in ihren Consequenzen als bewährt befunden worden.

Wie verhält es sich mit ihren *Erklärungen?*

Um die Bedingungen des Experiments für die Durchstrahlung auch von Seiten der Wärmequellen so ähnlich wie möglich zu machen, hatte ich bei dem Vergleich der frei brennenden Argand'schen Lampe und des durch eine andere erhitzten Eisencylinders die Flammengröfse jener und die Temperatur dieses so regulirt, dafs beide Wärmequellen etwa dieselbe Entfernung von der Thermosäule hatten, wenn sie, bei directer Einstrahlung, nach einander die nämliche Ablenkung am Multiplicator hervorbrachten. Nach dem Einschalten des auf einer Seite und des auf beiden Seiten matten Steinsalzes waren alsdann die verschiedenen, oben (S. 199) mitgetheilten Durchstrahlungen eingetreten.

Bei der Zusammenstellung der Argand'schen Lampe und der Sonne wurde jene in den Brennpunkt einer convexen Linse von Stafsfurther Steinsalz gestellt, um ihren Strahlen möglichst die parallele Richtung der Sonnenstrahlen zu geben; ein anderes Mal diese durch eine concave Steinsalz-Linse, deren virtueller Brennpunkt sich in der nämlichen Entfernung wie die Flamme befand, hindurchgelassen, um ihnen thunlichst die Divergenz der Lampenstrahlen zu ertheilen.

Immer erfolgten jedoch ganz dieselben, bei der Lampe und bei der Sonne verschiedenen, oben (S. 199) angeführten Durchgänge der Strahlen, die Linsen mochten angewandt werden oder nicht; es war also selbst ohne Einflufs, wenn, anstatt der divergirenden Strahlen der Lampe

und der parallelen der Sonne, jene möglichst parallel und diese divergent auf die matten Steinsalze fielen.

Sonach vereinigte sich Alles, die von Forbes gegebene Erklärung, wonach die, ihrer Natur nach, verschiedenen Wärmestrahlen von den diffundirenden Medien in ungleichem Verhältnifs zurückgehalten und hindurchgelassen würden, als die richtige erscheinen zu lassen.

Ja eine solche auswählende Absorption schien noch durch die Erfahrung desselben Beobachters bestätigt zu werden, dafs die Strahlen vor und nach ihrem Durchgange durch jene Schirme ein ungleiches Verhalten, z. B. eine ungleiche Fähigkeit, aufgeblätterten Glimmer oder berufstes Steinsalz zu durchdringen, zeigten [1]).

Beide Ergebnisse (bei den verschiedenen Wärmequellen und dei der doppelten Durchstrahlung) sind auch nach Melloni's Regeln [2]) für die thermochroische Beschaffenheit eingeschalteter Schirme, bei einfacher directer Durchstrahlung, beweisend. In dem vorliegenden Falle, wo die Durchstrahlung eine diffuse ist, kann die Beweiskraft des ersten Vorgangs zweifelhaft seyn, die des letzteren wäre es sicher nicht, wenn nicht gerade die zur Prüfung angewandten Substanzen als ungeeignet zu betrachten wären.

Der Glimmer ist in seinem natürlichen Zustande ein, die verschiedenen Wärmestrahlen ungleich hindurchlassender Körper. Das Aufblättern in Folge des Erhitzens wirkt aber dem Charakter dieses Durchlasses, wie Forbes selbst gezeigt hat, gerade entgegen [3]) und erzeugt eine diffundirende Wirkung [4]). Aehnlich werden auch beim Steinsalz die Durchstrahlungsverhältnisse durch das Berufsen geändert [5]), und der Gedanke, dafs es alsdann wie rauhe Körper sich verhalten könne, ist von Forbes selbst angeregt

1) Pogg. Annal. LI, 90, 91, 105.
2) Thermochröse, 216—234.
3) Pogg. Annal. LI, 90, 97, 98, 109.
4) Melloni, Pogg. Annal. LIII, 58, 59. — Forbes, Pogg. Annal. LI, 96—100.
5) Siehe weiter unten, Abschnitt III: Berufstes Steinsalz.

worden [1]). Derartige Substanzen vermögen aber offenbar die Frage nach einer in diffundirenden Körpern etwa stattfindenden auswählenden Absorption nicht zu entscheiden. Denn das Prüfungsmittel selbst würde mit allen den Zweifeln behaftet seyn, welche durch die Untersuchung beseitigt werden sollen. Nur homogene, klare Platten mit glatter Oberfläche, welche verschiedenen Wärmestrahlen einen ungleichen Durchgang gestatten, eignen sich zu diesem Zwecke. Auch ist es rathsam, als ersten Schirm rauhes Steinsalz an-

| Sonnenstrahlen | Diathermane Körper: | brauner Glimmer. | dunkelrothes Glas. | hellrothes Glas. |
|---|---|---|---|---|
| vor dem Durchgange | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten. | 100 : 76 | 39 | 52 |
| nach dem Durchgange durch das matte Steinsalz. | | 100 : 76 | 39 | 52 |

Bei keiner einzigen der hier zur Prüfung angewandten diathermanen Platten hat sich ein Unterschied in der Durchstrahlungsfähigkeit der Wärme vor und nach ihrem Durchgange durch das matte Steinsalz gezeigt. Das feinste Prüfungsmittel, dessen man sich zur Erforschung verschiedener Eigenschaften der Wärme bedienen kann, hat sie also *vorher und nachher als gleichartig* erwiesen. *Die mechanische Aenderung, welche die Diffusion hervorrief, hat demnach eine auswählende Absorption an dem betreffenden Schirm nicht zur Folge gehabt; und mithin ist einer solchen der ungleiche Durchgang der Strahlen verschiedener Wärmequellen bei jenen rauhen Körpern nicht zuzuschreiben.*

Auf den Vorgang in den, von Anderen noch nicht untersuchten, Milchgläsern soll später noch einmal zurückgekommen werden.

War somit wider Erwarten die Forbes'sche Erklärungsweise für die vorliegenden Fälle bei näherer Prüfung durch die Erfahrung nicht anerkannt worden, so gewann

1) Pogg. Annal. LI, 88 ff.

zuwenden, damit der Einflufs der mechanischen Beschaffenheit ganz allein sich geltend machen könne.

Es fragte sich jetzt, ob z. B. natürlicher (nicht aufgeblätterter) Glimmer, verschiedenfarbige Gläser, Gyps, Alaun, Kalkspath usw. *die durch zweiseitig mattes Steinsalz hindurchgegangenen Strahlen* von den directen Sonnenstrahlen unterscheiden würden.

Die Resultate der Beobachtung sind in der Tabelle enthalten.

| grünes Glas. | blaues Glas. | gelbes Glas. | farbloses Glas. | schwarzes Glas. | Gyps. | Alaun | Kalkspath. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 30 | 55 | 76 | 6 | 75 | 65 | 82 |
| 12 | 29 | 55 | 77 | 6 | 74 | 65 | 82 |

zuvörderst die Melloni'sche an Wahrscheinlichkeit, da sie von der jetzt als Thatsache nachgewiesenen Voraussetzung ausging, dafs auch das rauhe Steinsalz allen Wärmearten einen Durchgang in gleichem Verhältnifs gestatte. Es fragte sich, ob auch seine zweite Voraussetzung, die einer ungleichen Diffusion der verschiedenartigen Wärmestrahlen an einer und derselben rauhen Platte sich bestätigen würde.

Der Entscheidung näher zu kommen, wurde zuerst untersucht, *ob die Qualität der Wärmestrahlen überhaupt einen Einflufs auf die fragliche Erscheinung ausübe.*

Aus Obigem ist bekannt, dafs die *aus einer zweiseitig matten Steinsalzplatte austretenden* Sonnenstrahlen, abgesehen von ihrer veränderten Richtung, sich in Nichts von den *directen* Strahlen unterscheiden. Anstatt der, in ihren Eigenschaften wesentlich abweichenden, Wärmestrahlen einer Lampe wurden sie daher mit den directen Sonnenstrahlen hinsichtlich ihres Durchgangs durch die matten Steinsalze, rauhen Gläser und Milchgläser verglichen. Die hierbei





sich ergebenden Beobachtungen sind (ganz in der bisherigen Weise und mit den erforderlichen Reductionen) zu der folgenden Uebersicht zusammengestellt.

| Diathermane Körper. | Beschaffenheit. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, bei den directen Sonnenstrahlen. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, bei den aus mattem Steinsalz austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche die diathermanen Körper durchstrahlen, bei den directen Sonnenstrahlen. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche die diathermanen Körper durchstrahlen, bei den aus mattem Steinsalz austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Steinsalz. | auf einer Seite matt. | 100 : 45,0 | 66,0 | 100 | 147 |
| | auf beiden Seiten matt. | 100 : 32,5 | 57,5 | 100 | 177 |
| Glas. | auf einer Seite matt. | 100 : 45,0 | 53,0 | 100 | 118 |
| | auf beiden Seiten matt. | 100 : 34,0 | 45,0 | 100 | 132 |
| Milchglas. | II. | 100 : 37,0 | 54,0 | 100 | 146 |
| | I. | 100 : 32,0 | 54,0 | 100 | 169 |

Hiernach zeigen sich auch *bei ganz gleichartigen Wärmestrahlen Unterschiede,* welche den vorher bei der Sonne und Lampe wahrgenommenen entsprechen.

Die durch *polirtes und zweiseitig rauhes farbloses Glas* hindurchgegangenen Sonnenstrahlen sind ebenfalls unter sich von gleicher Qualität und daher zu der vorliegenden Untersuchung geeignet. Bei ihnen führte die Beobachtung zu nachstehenden Werthen:

| Diathermane Körper. | Beschaffenheit. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, bei den aus klarem Glase austretenden Sonnenstrahlen. | mattem | Verhältniſs der Wärmemengen, welche die diathermanen Körper durchstrahlen, bei den aus klarem Glase austretenden Sonnenstrahlen. | mattem |
|---|---|---|---|---|---|
| Steinsalz. | auf einer Seite matt. | 100 : 43 | 47 | 100 | 109 |
| | auf beiden Seiten matt. | 100 : 31 | 36 | 100 | 116 |
| Glas. | auf einer Seite matt. | 100 : 49 | 64 | 100 | 131 |
| | auf beiden Seiten matt. | 100 : 36 | 51 | 100 | 142 |
| Milchglas. | II. | 100 : 34 | 50 | 100 | 147 |
| | I. | 100 : 28 | 50 | 100 | 179 |

Um sicher zu seyn, daſs die *auch hier auftretenden Unterschiede* wirklich einem eigenthümlichen, an das Wesen der matten oder trüben Substanzen geknüpften Vorgange, nicht aber zufälligen Nebenwirkungen zuzuschreiben seyen, wurden diese zweiten Schirme noch mit klaren Platten von glatter Oberfläche, z. B. Steinsalz und Gläsern, vertauscht. So ergab sich unter übrigens identischen Umständen Folgendes:

| Diathermane Körper. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, bei den aus klarem Glase austretenden Sonnenstrahlen. | mattem |
|---|---|---|
| Steinsalz. | 100 : 78 | 78 |
| farbloses Glas. | 100 : 74 | 74 |
| desgl., von anderer Glassorte und Dicke. | 100 : 83 | 83 |
| rothes Glas. | 100 : 47 | 48 |





Diese Gegenversuche mit den klaren Schirmen, bei denen jene Unterschiede vollständig fehlen, bestätigen nicht allein die obige Ansicht, sondern beweisen zugleich die Gleichartigkeit der aus dem klaren und matten Glase austretenden Wärmestrahlen.

Es unterliegt also nicht dem mindesten Zweifel, dafs ganz *dieselben Erscheinungen, welche die Strahlen verschiedenartiger Wärmequellen bei ihrem Durchgange durch rauhe und trübe Medien darbieten, auch an Strahlen gleicher Qualität auftreten können.*

Dabei waren die äufseren Anordnungen der betreffenden Versuchsreihen in allem Uebrigen genau die nämlichen: die geschwärzte Röhre vor den diathermanen Körpern befindlich, die Säule und die Steinsalze mit ihren Blendungen versehen, usw.

Auch die Melloni'sche Theorie stöfst demnach auf Schwierigkeiten und Widersprüche mit der Erfahrung, indem sie von einer Ungleichartigkeit der Wärmestrahlen als der Bedingung einer ungleichen Zerstreuung durch die diffundirenden Platten ausgeht.

Sollte sie von dem Gesichtspunkte aus, dafs die directen und die durch mattes Steinsalz oder rauhes Glas hindurchgegangenen Sonnenstrahlen wesentlich verschiedene Richtungen haben, vielleicht nur die Modification erleiden, dafs anstatt der Qualität, die Richtung der Strahlen das Bestimmende für die an diffundirenden Medien erfolgende ungleiche Zerstreuung sey?

Es ist bereits oben (S. 204, 205) erwähnt worden, dafs durch mattes Steinsalz ganz dieselbe Wärmemenge zur Thermosäule gelangte, die Sonnenstrahlen mochten parallel oder divergent auf dasselbe auffallen. Um die Frage nach dem *Einflufs der Strahlenrichtung* zu erschöpfen, stellte ich zwei Versuchsreihen an, bei deren einer ich durch convexe und concave *Steinsalzlinsen*, bei der andern durch concave und convexe *Spiegel* den Strahlen beliebig convergirende oder divergirende Richtungen ertheilte, um ihre Durchgänge durch





das Steinsalz unter sich und mit dem der parallelen Sonnenstrahlen zu vergleichen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung finden sich in der folgenden Tabelle.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | durch eine Sammellinse convergirenden | directen parallelen | durch eine Zerstreuungslinse divergirenden | durch einen Brennspiegel convergirenden | durch einen Planspiegel zurückgeworfenen parallelen | durch einen Zerstreuungsspiegel divergirenden |
| | Sonnenstrahlen. | | | Sonnenstrahlen. | | |
| klar. | 100 : 78 | 78 | 78,5 | 100 : 80 | 80 | 80 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 43 | 43 | 43,0 | 100 : 50 | 50 | 50 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 31 | 31 | 32,0 | 100 : 35 | 35 | 35 |

Es geht aus diesen (nur innerhalb einer und derselben Versuchsreihe vergleichbaren) Zahlen hervor, dafs, *so lange man es wenigstens mit einer Gruppe paralleler oder durch einen Punkt gehender Wärmestrahlen zu thun hat, der Durchgang derselben durch diffundirende Platten von der Richtung der einfallenden Strahlen unabhängig ist.*

Dafs diefs *innerhalb sehr weiter Gränzen* gültig sey, ergab sich, als durch Rücken der Linsen oder der Spiegel oder durch Wechsel derselben von verschiedener Brennweite die gröfste Mannigfaltigkeit in der Convergenz und Divergenz der Strahlen herbeigeführt wurde.

Erschien danach auch die angedeutete Modification der Melloni'schen Auffassungsweise als nicht mit der Erfahrung vereinbar, so entstand das neue Problem, ob überhaupt eine ungleiche Zerstreuung an den diffundirenden Körpern nachweisbar sey, und, wenn sie vorhanden, dieselbe in einem Sinne wirke, um daraus die gefundenen Thatsachen ableiten zu können.





Seit ich das ungleiche Verhalten der matten und trüben Medien gegen die directen und die durch rauhes Steinsalz oder Glas hindurchgegangenen Sonnenstrahlen aufgefunden, hat es mir von Anfang an den Eindruck gemacht, als ob dieselben jene im Ganzen mechanisch mehr zurückhielten als diese. Aehnliches konnte bei den Strahlen der verschiedenen Wärmequellen, ganz unabhängig von einer auswählenden Absorption, stattgefunden haben.

Nach Melloni sollen die betreffenden diffundirenden Platten in allen Fällen gleiche Wärmeantheile hindurchlassen, die Strahlen ein Mal aber mehr zerstreuen als das andere Mal, und so die ungleiche Einwirkung auf die Thermosäule bedingen.

Bei dem Umstande, in der neuen Auffassungsweise von einem Manne mit dem Ansehn Melloni's abzuweichen, dem es überdiefs nicht mehr vergönnt ist, seine Ansicht selbst zu vertreten, erschien es um so wichtiger, eine sichere, auf unzweideutige Thatsachen gegründete, Entscheidung herbeizuführen.

Ich untersuchte daher auf thermischem wie auf optischem Wege die Ausbreitung der Strahlen vor und hinter den matten oder trüben Medien und fand hierbei gerade das Gegentheil von Dem, was die Melloni'sche Theorie erwarten liefs. Jeder kann sich in einem finsteren Zimmer, in welches die Sonnenstrahlen durch eine Oeffnung in der Fensterlade eintreten, davon überzeugen, dafs das auf einen weifsen Schirm aufgefangene scharf begränzte Bild beim Einschalten eines Milchglases oder matten Glases entweder unmerklich oder jedenfalls weniger sich erweitert, als wenn der Versuch mit einer Lampe oder an deren Stelle mit einer von der Rückseite beleuchteten durchscheinenden Platte angestellt wird, wobei die Bilder meist ganz verwaschene Ränder erhalten. *Die Sonnenstrahlen, bei denen die geringere Einwirkung auf die Thermosäule beobachtet wird, werden also nicht mehr, sondern weniger zerstreut, als die der anderen Licht- und Wärmequellen.* Jeder wird aber gleichzeitig die Beobachtung machen, dafs die Sonnenstrahlen

verhältnifsmäfsig mehr als die der Lampe bei jenen Einschaltungen verdunkelt werden, ja in charakteristischen Fällen so schlagend, dafs die intensivsten Sonnenstrahlen z. B. durch ein mattes farbloses Glas fast vollständig zurückgehalten werden, während die schwächeren der Lampe aufs Entschiedenste hindurchdringen [1]).

Der Vergleich der Ränder gelingt am besten, wenn die Oeffnung, durch welche die Strahlen in den dunkeln Raum eindringen, nur halb durch die diffundirende Platte verdeckt wird. Dafs die verhältnifsmäfsig stärkere Verdunkelung des Sonnenbildes nicht auf einer, durch den Contrast beider Hälften hervorgerufenen, Täuschung beruht, davon kann man sich optisch überzeugen, wenn man die anfangs offen gelassene Hälfte durch einen undurchsichtigen Schirm verschliefst.

Hatte sonach auch Melloni's Erklärungsweise sich nicht aufrecht erhalten lassen, so lag nach den gemachten Erfahrungen der Gedanke nahe, dafs die in dem ersten matten Schirm hervorgerufene *Diffusion, d. h. die Erzeugung einer Anzahl nach den verschiedensten Seiten hin sich ausbreitender Strahlengruppen* die Bedingung für ihren reichlicheren Durchgang durch die zweiten rauhen oder trüben Platten enthalte, im Vergleich mit dem der, aus lauter parallelen Strahlen bestehenden, ursprünglichen Gruppe.

Es kam darauf an, ob dieses Princip auch bei genauerer Prüfung sich bewähren würde.

Ist die Erhöhung des Wärmedurchgangs durch die *matten Steinsalze* eine Folge der Diffusion der auf sie eindringenden Strahlen, so mufs sie mit dem *Grade dieser Diffusion* im Verhältnifs stehen. Nun ist aber die diffundirende Wirkung einer zweiseitig mattgeschliffenen Steinsalz- oder Glasplatte ohne Zweifel gröfser als die einer einseitig matten, die eines durchscheinenden Milchglases (No. V) grö-

1) Mir ist kein Beispiel bekannt, in dem die, durch die Schärfe der Umrisse bedingte, *Deutlichkeit* des hindurchgelassenen Bildes (aus der man sonst so geneigt ist, die Durchsichtigkeit eines Schirms zu beurtheilen) und dessen *Helligkeit* in so auffallender Weise *contrastirten*.





fser als die eines mehr durchsichtig als durchscheinend zu nennenden (No. II). Es fragte sich, wie die Durchstrahlungsverhältnisse sich gestalten würden, wenn die directen und die aus den bezeichneten Substanzen, als ersten Schirmen, austretenden Sonnenstrahlen mit einander verglichen werden.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den | | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, bei den | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | directen | aus einseitig mattem *Steinsalz* austretenden | aus zweiseitig mattem *Steinsalz* austretenden | directen | aus einseitig mattem *Steinsalz* austretenden | aus zweiseitig mattem *Steinsalz* austretenden |
| | Sonnenstrahlen. | | | Sonnenstrahlen. | | |
| klar. | 100 : 79,0 | 79 | 79,0 | 100 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 45,0 | 55 | 66,0 | 100 | 122 | 147 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 32,5 | 40 | 57,5 | 100 | 123 | 177 |

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den | | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, bei den | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | directen | aus einseitig mattem *Glase* austretenden | aus zweiseitig mattem *Glase* austretenden | directen | aus einseitig mattem *Glase* austretenden | aus zweiseitig mattem *Glase* austretenden |
| | Sonnenstrahlen. | | | Sonnenstrahlen. | | |
| klar. | 100 : 78 | 78 | 78 | 100 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 47 | 51 | 60 | 100 | 109 | 128 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 34 | 39 | 47 | 100 | 115 | 138 |





| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den | | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, bei den | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | directen | aus durchsichtigem No. II *Milchglase* austretenden | aus durchscheinendem No. V *Milchglase* austretenden | directen | aus durchsichtigem No. II *Milchglase* austretenden | aus durchscheinendem No. V *Milchglase* austretenden |
| | Sonnenstrahlen. | | | Sonnenstrahlen. | | |
| klar. | 100 : 80 | 80 | 80 | 100 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 43 | 64 | 75 | 100 | 149 | 174 |
| auf beiden Seiten matt. | 130 : 31 | 46 | 57 | 100 | 148 | 184 |

Vergleicht man diese Zahlen, wie sie in horizontaler Reihe neben einander stehen, so weisen sie aufs Unverkennbarste nach: 1) *dafs der Durchgang der Wärmestrahlen durch mattes Steinsalz gesteigert wird, in dem Maafse, als die Diffusion zunimmt, welche sie vorher erfahren*; 2) *dafs diese Steigerung bei dem zweiseitig matten Steinsalze verhältnifsmäfsig höhere Werthe annimmt, als bei dem einseitig matten.*

Die Prüfung wurde in gleicher Weise mit *matten Glasplatten* als zweiten Schirmen ausgeführt. Als erste Schirme dienten zunächst eine klare; dann eine, auf einer Seite sehr fein matt geschliffene; eine auf zwei Seiten fein matt und eine auf beiden Seiten grob geschliffene Glasplatte. Sodann wurden noch die directen Sonnenstrahlen mit den durch ein klares farbloses Glas, das Milchglas No. II und das No. V hindurchgegangenen zusammengestellt.

| Gläser. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus klarem | einseitig sehr fein mattem | zweiseitig mattem | zweiseitig rauhem | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den aus klarem | einseitig sehr fein mattem | zweiseitig mattem | zweiseitig rauhem |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Glase* austretenden Sonnenstrahlen. | | | | *Glase* austretenden Sonnenstrahlen. | | | |
| klar. | 100:74 | 74 | 74,0 | 74 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt. | 100:49 | 49 | 58,0 | 64 | 100 | 100 | 118 | 131 |
| auf beiden Seiten matt | 100:36 | 36 | 43,5 | 51 | 100 | 100 | 121 | 142 |

| Gläser. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei den directen | aus klarem farblosem *Glase* | durchsichtigem No. II *Milchglase* | durchscheinendem No. V *Milchglase* | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den directen | aus klarem farblosem *Glase* | durchsichtigem No. II *Milchglase* | durchscheinendem No. V *Milchglase* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sonnenstrahlen. | austretenden | | | Sonnenstrahlen. | austretenden | | |
| klar. | 100:77 | 76 | 76 | 76 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt. | 100:44 | 44 | 53 | 70 | 100 | 100 | 120 | 159 |
| auf beiden Seiten matt. | 100:34 | 34 | 42 | 55 | 100 | 100 | 124 | 162 |

In der ersten dieser beiden Versuchsreihen hatte sich der Einflufs der nur auf einer Seite sehr fein matt geschliffenen Glasplatte der Beobachtung entzogen; in der zweiten hatte das zufällig bei der Prüfung angewandte Glas der directen so wie der durch ein anderes Glas und die *Milch*gläser gegangenen Sonnenwärme eine gleiche Durch-

strahlung gestattet. Indem so die auswählende Absorption sich nicht geltend machte, trat sehr vortheilhaft auch in diesem Falle, wie in den übrigen, die Wirkung der ungleichen Diffusion ungetrübt hervor.

Gegenüber den *Milchgläsern* ist es um so nothwendiger, bei den ungleichen Diffusionsgraden, Strahlen von gleicher Wärmequalität einfallen zu lassen, weil keine Substanz bekannt ist, welche eine gleiche auswählende Absorption wie jene ohne deren Trübung besäfse, und die sonst, wie neben den matten Gläsern das klare, zur Elimination der auswählenden Absorption benutzt werden könnte. Es sind daher als erste Schirme nur die Steinsalze und Gläser von verschiedener Rauheit angewandt worden; als zweite aber dienten, wegen ihrer grofsen Verschiedenheit der inneren Trübung, die Milchgläser II und V.

| Milchgläser. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Milchgläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus klarem *Steinsalz* austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Milchgläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus einseitig mattem *Steinsalz* austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Milchgläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus zweiseitig mattem *Steinsalz* austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser durchstrahlen, bei den aus klarem *Steinsalz* austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser durchstrahlen, bei den aus einseitig mattem *Steinsalz* austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser durchstrahlen, bei den aus zweiseitig mattem *Steinsalz* austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| No. II. | 100 : 30 | 45 | 46 | 100 | 150 | 153 |
| No. V. | 100 : 14 | 32 | 38 | 100 | 229 | 271 |

| Milchgläser. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Milchgläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus klarem *Glase* austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Milchgläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus einseitig mattem *Glase* austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Milchgläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus zweiseitig mattem *Glase* austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser durchstrahlen, bei den aus klarem *Glase* austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser durchstrahlen, bei den aus einseitig mattem *Glase* austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser durchstrahlen, bei den aus zweiseitig mattem *Glase* austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| No. II. | 100 : 30 | 37 | 47,0 | 100 | 123 | 157 |
| No. V. | 100 : 15 | 21 | 27,5 | 100 | 140 | 183 |

Wie zu erwarten, gehen die Strahlen jedesmal durch eine einseitig matte Platte schlechter hindurch als durch eine klare, durch eine zweiseitig matte schlechter als durch eine einseitig matte; durch das trübere Milchglas No. V schlechter als durch das weniger trübe No. II. Die Verluste aber, welche die parallelen und die aus dem einen oder andern rauhen Schirm austretenden Strahlen bei diesem zweiten Durchlafs erleiden, sind nicht dieselben. Was in dieser Hinsicht an den einzelnen matten Steinsalzplatten beobachtet worden, hat sich an jedem matten Glase und Milchglase bestätigt. Was aber dort für die besonderen ersten diffundirenden Schirme an den in verticaler Linie stehenden Zahlen sich nur andeutet, tritt hier aufs Entschiedenste hervor, nämlich: 1) *dafs für einen und denselben Diffusionsgrad der Durchgang der Wärmestrahlen durch die matten oder trüben Medien, im Vergleich mit dem der parallelen Strahlen, verhältnifsmäfsig desto weniger vermindert wird, je matter oder trüber dieses Medium ist;* 2) *dafs diese Verminderung bei einer mehr diffusen Gruppe weniger beträgt als bei einer minder diffusen.*

Die auf gleiche (mit 100 bezeichnete) Durchgänge der parallelen Strahlen reducirten Werthe lassen diefs in Form der Steigerung, welche hier, wie in den horizontalen, so auch in den verticalen Reihen auftritt, aufs Deutlichste ersehen.

Hatte das oben aufgestellte Princip bei *verschiedenen Diffusionsgraden gleichartiger Wärmestrahlen* sich bewährt, so mufste es auch bei den *verschiedensten Wärmequalitäten*, sofern ihre *Diffusion* als *gleich* angenommen werden durfte, bestätigt werden.

Nach dem optischen Verhalten hielt ich ein rauhes Steinsalz, eine rauhe farblose Glasplatte und das Milchglas No. I als gleich diffundirend. Die folgende Prüfung erwies aber die aus ihnen austretenden Sonnenstrahlen als thermisch verschieden, in sofern sie, wie die folgenden Werthe ergeben, ein rothes, gelbes Glas und Kalkspath in ungleichem Verhältnifs durchdringen.

| Diathermane Körper. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, bei den aus rauhem Steinsalze | rauhem Glase | Milchglase No. 1 austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|
| rothes Glas. | 100 : 57 | 50 | 68 |
| gelbes Glas. | 100 : 63 | 61 | 76 |
| Kalkspath. | 100 : 82 | 88 | 81 |

Die Prüfung mittelst einer zweitig matten Steinsalz- und einer derartigen farblosen matten Glasplatte, denen zur Controle je eine klare Platte gleichen Materials beigegeben wurde, liefs aber bei allen drei diffundirenden Schirmen eine *gleiche Steigerung des Durchgangs* im Vergleich mit dem der directen parallelen Sonnenstrahlen wahrnehmen. Ein Blick auf die nachstehenden, nur innerhalb der Beobachtungsfehler von einander abweichenden, Werthe läfst darüber keinen Zweifel.

| Diathermane Körper. | Beschaffenheit. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, bei den directen | aus rauhem Steinsalze | rauhem Glase | Milchglase No. 1 austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Steinsalz. | klar. | 100 : 77 | 77 | 77 | 77 |
| | auf beiden Seiten matt. | 100 : 28 | 41 | 41 | 41 |
| Glas. | klar. | 100 : 76 | 76 | 78 | 75 |
| | auf beiden Seiten matt. | 100 : 29 | 41 | 41 | 39 |

Es liegt hierin zugleich eine neue Bestätigung der *Unabhängigkeit dieses Vorgangs von der Qualität der strahlenden Wärme*.

Um vor dem Einschalten der matten oder trüben Medien stets eine und dieselbe Ablenkung am Thermomultiplicator hervorzubringen, war entweder vor oder hinter dem ersten diffundirenden Schirm ein Spalt mit Mikrometerschraube angebracht, auch wohl der Schirm selbst etwas hin und her gerückt worden, um die Einwirkung auf die Thermosäule genau zu reguliren. Es hatte dabei nicht anders geschehen können, als dafs die von der Sonne beschienene Fläche des ersten Schirms ihre *Gröfse*, *Form* und *Entfernung* mannigfach gewechselt hatte. Den etwaigen Einflufs dieser Nebenumstände beurtheilen zu können, unterwarf ich sie einer besonderen Prüfung.

Die *Gröfse* der bestrahlten Fläche wurde dadurch beliebig verändert, dafs die Sonnenstrahlen bei ihrem Eintritt in das finstere Zimmer durch eine convexe Glaslinse gebrochen und in dem so entstehenden Strahlenkegel der betreffende diffundirende Schirm der Spitze oder der Basis mehr genähert wurde. So konnte der beleuchteten Scheibe ein Durchmesser von 3 bis 55 Millimetern gegeben werden. Die Versuche wurden mit mehr oder minder matten Glasplatten und dem Milchglase No. II als ersten, dem einseitig und zweiseitig matten Steinsalz als zweiten Schirmen angestellt, und führten zu den in der Tabelle enthaltenen Beobachtungen.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | directen Sonnenstrahlen. | aus der convexen Glaslinse allein | aus der convexen Glaslinse und sehr fein mattem Glase austretenden Sonnenstrahlen. | | aus der convexen Glaslinse und mattem Glase austretenden Sonnenstrahlen. | | aus der convexen Glaslinse und rauhem Glase austretenden Sonnenstrahlen. | | aus der convexen Glaslinse und No. II Milchglase austretenden Sonnenstrahlen. | |
| | | | $4^{mm}$ Durchmesser. | $50^{mm}$ Durchmesser. | $3^{mm}$ Durchmesser. | $55^{mm}$ Durchmesser. | $4^{mm}$ Durchmesser. | $50^{mm}$ Durchmesser. | $3^{mm}$ Durchmesser. | $55^{mm}$ Durchmesser. |
| auf einer Seite matt. | 100:43 | 43 | 45 | 43 | 47 | 47 | 55 | 55 | 64 | 64 |
| *auf beiden Seiten matt.* | *100:31* | 31 | 32 | 31 | 36 | 36 | 44 | 44 | 46 | 46 |

Es geht aus diesen Zahlen hervor, dafs *bei einem und demselben Schirme die Verschiedenheit in der Gröfse der zur Geltung kommenden Fläche keinen Einflufs auf die Durchstrahlungsverhältnisse ausgeübt hat.*

Verschiedene *Formen* mit einander zu vergleichen, wurden Milchgläser so mit Stanniol belegt, dafs an ihnen nur eine kreisrunde Scheibe und ein ihr an Oberfläche gleicher Ring frei blieb und diese nach einander der Sonnenwärme zur Durchstrahlung dargeboten.

Die erhaltenen Werthe zeigen, dafs *auch diese Verschiedenheit den zweiten Durchgang unberührt liefs.*

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | directen | aus dem Milchglase No. III austretenden | | directen | aus dem Milchglase No. IV austretenden | |
| | Sonnenstrahlen. | | | Sonnenstrahlen. | | |
| | | Scheibe. | Ring. | | Scheibe. | Ring. |
| klar. | 100 : 80 | 80 | 80 | 78 | 78 | 78 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 33 | 49 | 47 | 31 | 48 | 48 |

*In gleicher Weise erschienen diese Verhältnisse, wenigstens innerhalb der Gränzen der angestellten Versuche, von der Entfernung der ersten diffundirenden Fläche unabhängig.*

---

Es war von Interesse, auch *die Wirkung derjenigen Rauheit* zu prüfen, *welche durch Aufstreuen eines Pulvers auf eine glatte und klare diathermane Platte hervorgerufen wird.*

Zu dem Ende bestäubte ich eine *Platte farblosen Glases mit Semen Licopodii* in immer dicker werdenden Schichten, und untersuchte die Durchstrahlung der durch sie gegangenen Sonnenstrahlen durch mattes Steinsalz. Das Ergebnifs ist in der nachstehenden Zusammenstellung enthalten.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den | | | |
|---|---|---|---|---|
| | aus dem klaren Glase allein | aus dem mit Licopodium bestäubten Glase bei | | |
| | | dünnster Schicht | dickerer Schicht | dickester Schicht |
| | austretenden Sonnenstrahlen. | | | |
| klar. | 100 : 71 | 71 | 71 | 71 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 43 | 43 | 43 | 42 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 26 | 28 | 27 | 26 |

Danach hat sich *kein Unterschied in dem Verhalten der aus dem klaren und aus dem bestäubten Glase austretenden Wärmestrahlen gegenüber den matten Schirmen* herausgestellt. Auch bei noch dicker aufgestreuter Schicht trat keine, über die Beobachtungsfehler hinausgehende, Verschiedenheit ein. Dieses Resultat ist in sofern bezeichnend, als es lehrt, wie in der bloſsen Rauheit der Oberfläche nichts Bestimmendes für die in Rede stehende Verhältnisse liegt Sofern dieselbe nicht eine Diffusion hervorruft, ist sie für diese ohne Einfluſs.

Auf die Abwesenheit einer solchen in dem vorliegenden Falle deutet aber auch das Ergebniſs eines von Melloni [1]) angewandten Verfahrens hin, indem das bestäubte Glas, in den Gang der Sonnenstrahlen eingeschaltet und daselbst hin und her gerückt, abweichend von den matten und trüben Medien, keine Aenderung in den Angaben des Thermomultiplicators herbeiführt, während diese beim Annähern an die Säule eine gesteigerte Wärmewirkung erkennen lassen. Es ist sonach etwa einem Siebe vergleichbar. In gleicher Weise bestätigt die optische Untersuchung, daſs eine Diffusion bei keiner Dicke der Bestreuung eintritt. Das Pulver bewirkt nur eine Beugung der Strahlen, welche durchweg ihren Charakter beibehält. Während demnach auch diese Beobachtungen das Princip von der Dif-

1) *Annal. de Chim et de Phys.* LXXV, 376. — Poggend. Annal. LIII, 49 ff.

fusion der Strahlen bestätigen, beseitigen sie zugleich die von Forbes angeregten Zweifel, wie weit die Diffraction dabei mitwirke, und lösen in Verbindung mit dem Vorhergehenden alle die Schwierigkeiten, welche die mannigfachen und scheinbar widersprechenden, von Forbes an Pulvern, Gittern, Netzen usw. gemachten Erfahrungen auf diesem Gebiete zurückgelassen.

---

Die mitgetheilten Wahrnehmungen und die daran sich knüpfenden Betrachtungen führten mich auf eine neue Untersuchung, nämlich die des *Durchgangs der von verschiedenen glatten oder rauhen Oberflächen zurückgeworfenen Wärmestrahlen durch matte und trübe Medien.*

Die Sonnenstrahlen wurden zuerst an *gleichartigen Körpern von ungleichem Grade der Rauheit* reflectirt, an polirtem und mattgeschliffenem *Platin*, polirtem und mattem *Golde* und *Silber* von drei so verschiedenen Oberflächen, dafs die eine hoch polirte fast schwarz, die andere matte grau und die dritte mattere weifs erschien. So, bald unter bestimmtem Winkel und unter sich parallel, bald diffus reflectirt, gelangten sie, der Reihe nach, zur Thermosäule, vor welcher nach einander das einseitig und das zweiseitig matte *Steinsalz* eingeschaltet wurden. Bei den thermischen Eigenschaften dieser Substanz war es von keiner weiteren Bedeutung, dafs nur die vom polirten und rauhen Platin zurückgeworfenen Wärmestrahlen als gleichartig [1]), die vom Gold und Silber bei ungleicher Oberfläche reflectirten aber als unter sich verschiedenartig [2]) zu betrachten waren.

Unter Anwendung der mehrgedachten Vorsichtsmafsregeln hat die Beobachtung zu folgenden Werthen geführt, welche, wie bisher, den Durchgang durch jene Schirme auf die vor dem Einschalten wahrgenommene, gleich 100 gesetzte Wärmemenge beziehen; sodann diese Durchgänge unter sich vergleichen, wobei, dem Vorigen entsprechend,

1) Pogg. Annal. CI, 183, 188, 201, 211, 213.
2) Pogg. Annal. CI, 183, 188, 196, 197, 212, 213.





die der parallelen Sonnenstrahlen mit 100 bezeichnet worden sind.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, nach der Reflexion von: *Platin* bei polirter Oberfläche | rauher Oberfläche | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, nach der Reflexion von: *Platin* bei polirter Oberfläche | rauher Oberfläche |
|---|---|---|---|---|
| auf einer Seite matt. | 100 : 49,5 | 59,0 | 100 | 119 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 30,0 | 40,5 | 100 | 135 |

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, nach der Reflexion von: *Gold* bei polirter Oberfläche | rauher Oberfläche | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, nach der Reflexion von: *Gold* bei polirter Oberfläche | rauher Oberfläche |
|---|---|---|---|---|
| auf einer Seite matt. | 100 : 49 | 57 | 100 | 116 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 34 | 42 | 100 | 124 |

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, nach der Reflexion von: *Silber* bei polirter Oberfläche | matter Oberfläche | rauher Oberfläche | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, nach der Reflexion von: *Silber* bei polirter Oberfläche | matter Oberfläche | rauher Oberfläche |
|---|---|---|---|---|---|---|
| auf einer Seite matt. | 100 : 45,5 | 56,5 | 68 | 100 | 124 | 149 |
| auf beiden [illegible] | [illegible] | [illegible] | 57 | 100 | 127 | 178 |

Interessant ist es, hier zu verfolgen: 1) *wie der Durchgang der Wärmestrahlen durch ein und dasselbe matte Steinsalz zunimmt, je rauher die reflectirende Fläche; 2) wie der Durchgang der an einer und derselben rauhen Fläche zurückgeworfenen Strahlen, im Vergleich mit denen an der polirten, weniger abnimmt, je matter das hindurchlassende Steinsalz.*

Als *verschiedene reflectirende Körper* von ungleicher Oberfläche dienten polirtes *Platin* und *Gyps.*

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, nach der Reflexion von: | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, nach der Reflexion von: | |
|---|---|---|---|---|
| | polirtem *Platin.* | *Gyps.* | polirtem *Platin.* | *Gyps.* |
| auf einer Seite matt. | 100 : 49,5 | 70 | 100 | 141 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 30,0 | 50 | 100 | 167 |

Der Unterschied in dem Verhalten der *parallel* und der *diffus zurückgeworfenen* Wärmestrahlen tritt hier in gleicher Weise hervor.

Entsprechende Versuche wie mit dem Steinsalz wurden mit dem ein- und dem zweiseitig matten *Glase* angestellt. Reflectirt wurde die Wärme von polirtem *Platin* oder *Silber* und rauhem Platin, ferner von polirtem Platin und weifser *Seide*, von polirtem Silber und *Gyps*. Hier kommt in Betracht, dafs nur beim Platin die Qualität der von der rauhen und von der spiegelnden Oberfläche zurückgeworfenen Wärmestrahlen dieselbe ist. Bei der Seide sowohl wie beim Gyps unterscheidet sie sich von der am polirten Metall reflectirten; und in Folge dessen ist schon der Durchgang durch die Glasmasse selbst in beiden Fällen ein verschiedener [1]). Um diesen Einflufs von dem der matten Beschaffenheit der Gläser trennen zu können, mufste denselben

1) Pogg. Annal. CIX, 595 ff.

das klare polirte Glas von gleicher Dicke beigegeben werden. Hierbei lieferte die Beobachtung folgende Resultate:

| Gläser. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, nach der Reflexion von: | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, nach der Reflexion von: | |
|---|---|---|---|---|
| | polirtem *Platin* oder *Silber.* | rauhem *Platin.* | polirtem *Platin* oder *Silber.* | rauhem *Platin.* |
| klar. | 100 : 72 | 72 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 48 | 56 | 100 | 117 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 36 | 44 | 100 | 122 |

| Gläser. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, nach der Reflexion von: | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, nach der Reflexion von: | |
|---|---|---|---|---|
| | polirtem *Platin.* | weifsem *Tafft.* | polirtem *Platin.* | weifsem *Tafft.* |
| klar. | 100 : 72 | 80 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 47 | 62 | 100 | 119 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 32 | 44 | 100 | 124 |

| Gläser. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, nach der Reflexion von: | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, nach der Reflexion von: | |
|---|---|---|---|---|
| | polirtem *Silber.* | *Gyps.* | polirtem *Silber.* | *Gyps.* |
| klar. | 100 : 72 | 84 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 47 | 72 | 100 | 131 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 34 | 59 | 100 | 149 |

Oder, wenn die reducirten (die auswählende Absorption ausschliefsenden) Werthe in gemeinsamer Uebersicht nach dem Grade der Rauheit der reflectirenden Körper zusammengestellt werden:

| Gläser. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, nach der Reflexion von: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | polirtem Platin oder Silber. | rauhem Platin. | weifsem Taffit. | Gyps. |
| klar. | 100 | 100 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 | 117 | 119 | 131 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 | 122 | 124 | 149 |

Aus dieser Tafel erhellt hinsichtlich des *Grades* der S. 225 gedachten Zunahme, 1) *wie die Steigerung des Durchgangs der von verschieden rauhen Flächen zurückgeworfenen Wärmestrahlen desto höhere Werthe annimmt, je matter der eingeschaltete diathermane Schirm*; 2) *wie die relative Steigerung dieses Durchgangs durch die verschieden matten Schirme* (auf die von polirtem Metall zurückgeworfenen Strahlen bezogen) *durch desto höhere Werthe hindurchgeht, je rauher die reflectirende Fläche.*

Bei den *Milchgläsern* II und V, von denen das letztere trüber als das erste, wurden polirtes *Silber*, rauhes *Platin*, weifser *Atlas* und *Gyps* als reflectirende Körper angewandt. Die Ergebnisse waren:

| Milchgläser. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Milchgläser zur Thermosäule gelangten, nach der Reflexion von: | | | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser durchstrahlen, nach der Reflexion von: | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | polirtem *Silber.* | rauhem *Platin.* | weifsem *Atlas.* | *Gyps.* | polirtem *Silber.* | rauhem *Platin.* | weifsem *Atlas.* | *Gyps.* |
| No. II. | 100 : 35,0 | 41 | 45 | 53 | 100 | 117 | 129 | 151 |
| No. V. | 100 : 18,5 | 26 | 36 | 43 | 100 | 141 | 195 | 232 |

Von den zurückgeworfenen Sonnenstrahlen sind nur die vom polirten Silber und rauhen Platin [1]), so wie die von weifser Seide und Gyps [2]) reflectirten unter sich als thermisch gleichartig zu betrachten. Die innerhalb dieser, paarweise zusammengestellten, Gruppen an den Milchgläsern auftretenden erheblichen Durchstrahlungsunterschiede sind demnach nur eine Folge der ungleichen Rauheit der reflectirenden Flächen, und so ergiebt sich, dafs *ganz dieselben Erscheinungen, welche an den äufserlich matten Schirmen wahrgenommen werden, an den innerlich trüben in erhöhtem Maafse sich geltend machen.*

Bei dem Vergleich der von den Metallen und der von Seide und Gyps reflectirten Wärmestrahlen der Sonne ist zu berücksichtigen, dafs die letzteren die Eigenschaft besitzen, durch alle bisher zur Prüfung angewandten diathermanen Substanzen besser hindurchzugehen als erstere [3]). Es ist also mehr als wahrscheinlich, dafs sie in ähnlicher Weise die Masse des Milchglases, auch wenn dieselbe nicht trübe wäre, reichlicher durchstrahlen würden als jene. Um aber den Einflufs dieser qualitativen Verschiedenheit der Strahlen ermitteln und von den wirklich beobachteten Werthen in Abzug bringen zu können, welche ihn und denjenigen der mechanischen Trübung zusammen enthalten, würde es eines nicht trüben Milchglases bedürfen. Setzt man alle, dem weniger trüben Milchglase II angehörigen Werthe einander gleich, um auf sie die von No. V zu beziehen, so eliminirt man mit der Wirkung der auswählenden Absorption zugleich die der Trübung des ersteren, und derartige Zahlen, wie sie hier folgen, können alsdann nur den überwiegenden Einflufs der Trübung in No. V über den in No. II darstellen.

1) Pogg. Annal. CI, 179 ff.
2) Pogg. Annal. CIX, 595 ff.
3) Pogg. Annal. CIX. 597.

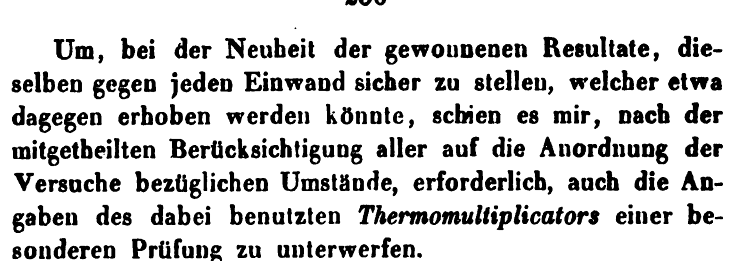


| Milchgläser. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Milchgläser durchstrahlen, nach der Reflexion von: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | polirtem Silber. | rauhem Platin. | weifsem Atlas. | Gyps. |
| No. II. | 100 | 100 | 100 | 100 |
| No. V. | 100 | 121 | 151 | 154 |

Wenn man bedenkt, dafs die hier zur Geltung kommende Wirkung der mehr oder minder rauhen reflectirenden Flächen wesentlich darin besteht, die ursprünglich parallelen Strahlen, von einer Anzahl von Punkten aus, nach den verschiedensten Seiten hin mehr oder minder zu zerstreuen, so wird man auf *denselben Gesichtspunkt* geführt, von welchem aus die Wirkung der matten und trüben Schirme sich hatte betrachten lassen und *das bei der Durchstrahlung aufgestellte Princip der Diffusion erhält so bei der Reflexion eine erweiterte Bedeutung.*

Dasselbe wird durch einen Versuch bestätigt, welcher für die betreffende Frage auch auf jenem Gebiete, wenn zwar in anderem Sinne, charakteristisch gewesen. Eine *hochpolirte Metallplatte* wird durch das *Aufstreuen eines Pulvers, wie Semen Licopodii,* zweifellos diffundirender. Ist jene Auffassung die richtige, so müssen die von der bestäubten Fläche mehr oder minder diffus reflectirten Sonnenstrahlen besser durch mattes Steinsalz hindurchgehen, als die von dem Metallspiegel parallel zurückgeworfenen. Dafs diefs in der That der Fall ist, geht aus den folgenden Zahlen unzweideutig hervor.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, nach der Reflexion von: | | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, nach der Reflexion von: | |
|---|---|---|---|---|
| | polirtem Metall. | mit Licopodium bestäubtem Metall. | polirtem Metall. | mit Licopodium bestäubtem Metall. |
| klar. | 100 : 80 | 80 | 100 | 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 50 | 68 | 100 | 136 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 35 | 59 | 100 | 169 |





Um, bei der Neuheit der gewonnenen Resultate, dieselben gegen jeden Einwand sicher zu stellen, welcher etwa dagegen erhoben werden könnte, schien es mir, nach der mitgetheilten Berücksichtigung aller auf die Anordnung der Versuche bezüglichen Umstände, erforderlich, auch die Angaben des dabei benutzten *Thermomultiplicators* einer besonderen Prüfung zu unterwerfen.

Bekanntlich sind die Angaben der Galvanometernadel nur innerhalb gewisser, bei verschiedenen Instrumenten ungleicher, Gränzen den sie erzeugenden Kräften proportional. Ueber diese Gränzen hinaus sind jene höheren Ablenkungen verhältnifsmäfsig zu klein. Die Folge davon ist, dafs, wenn eine niedere auf eine höhere bezogen wird, die Division der ersteren durch die letztere anfangs das richtige Verhältnifs der dabei wirksamen Kräfte darstellt, dann eine zu hohe Zahl liefert. Nur wenn beide Angaben des Instruments einander sehr nahe stehen, wird der Bereich der Theilung, innerhalb dessen die Grade abgelesen werden, ohne Einflufs seyn; z. B. bei dem Vergleich der Ablenkungen vor und nach dem Einschalten des vorzüglichst diathermanen und daher die Abweichung der Nadel sehr wenig vermindernden Steinsalzes. Die Verhältnifszahl wird aber um so mehr zu hoch erscheinen, je gröfser der Unterschied der beiden Ablesungen ist, wie es z. B. der Fall, wenn nach einer, die Nadel über die Proportionalitätsgränze hinaus treibenden directen Strahlung auf die Thermosäule, die eingeschaltete Substanz nur einen geringen Antheil der betreffenden Wärme hindurchläfst. Die Versuche haben diefs vielfach bestätigt.

Während alle diese Bemerkungen von keinem wesentlichen Belang für die Beobachtungen sind, welche einem und demselben matten oder trüben Medium angehören, z. B. die bei dem Steinsalz wahrgenommene, in den Tabellen in horizontaler Linie dargestellte Steigerung, so sind sie doch geeignet, Mifstrauen gegen diejenigen anzuregen, welche auf verschiedene Schirme sich beziehen, z. B. die Steigerung, welche in den verticalen Reihen der Uebersichten auftritt.

Hier liegt der Fall vor, wo eine kleiner und kleiner werdende Ablenkung auf eine gröfsere bezogen wird. Ueberschritt die Beobachtung die Gränze der Proportionalität zwischen Wärmestrahlung und galvanometrischer Ablenkung, so mufste dieser Umstand allein schon höhere und höhere Zahlen herbeiführen. Es fragt sich, *ob eine derartige künstliche Steigerung der betreffenden Werthe die Erscheinung in den vorliegenden Fällen getrübt hat.*

Die Untersuchung wird sich am besten durch Mittheilung der Beobachtungen selbst erläutern lassen.

Bei dem ersten Verfahren wurden die directen Sonnenstrahlen mit den durch die Milchgläser II und V hindurchgegangenen, hinsichtlich ihres Verhaltens gegen das klare und die matten Steinsalze, verglichen. Zunächst wurde, der bisher stets befolgten Methode gemäfs, vor dem Einschalten der letzteren jedesmal eine constante Ablenkung durch directe Strahlung auf die Thermosäule, z. B. von 9°,5 herbeigeführt. Das Zwischenstellen der Steinsalze bewirkte alsdann die in der folgenden Tabelle verzeichneten Verminderungen jener Ablenkung.

| Steinsalze. | Directe Sonnenstrahlen. Ablenkung | | Sonnenstrahlen, austretend aus dem Milchglase No. II. Ablenkung | | Sonnenstrahlen, austretend aus dem Milchglase No. V. Ablenkung | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ohne | bei | ohne | bei | ohne | bei |
| | Einschaltung der Steinsalze. | | | | | |
| klar. | 9,5 | 7,5 | 9,5 | 7,5 | 9,5 | 7,75 |
| auf einer Seite matt. | 9,5 | 4,5 | 9,5 | 5,5 | 9,5 | 6,00 |
| auf beiden Seiten matt. | 9,5 | 2,5 | 9,5 | 3,5 | 9,5 | 4,50 |

Bei der vorzunehmenden Prüfung wurden nun, anstatt die Angaben des Instruments vor dem Einschalten einander gleich zu machen, durch Reguliren der betreffenden Wärmemenge, die nach dem Einschalten auftretenden als gleich hergestellt, darauf das Steinsalz entfernt und abgewartet,

welche Ablenkung sodann durch die unmittelbar eindringenden Strahlen erfolgen würde. Dabei wurde, wie anfangs von den höchsten, jetzt von den niedrigsten Werthen ausgegangen; ferner um Alles möglichst zu vertauschen und die Gränzen der Versuchsreihen zu umfassen, bei der ersten Gruppe der ursprünglich geringste Werth der letzten 4°,5; bei dieser der anfänglich kleinste der ersten Gruppe 2°,5 zu Grunde gelegt; bei der mittleren 3°,5 belassen. So ergab sich:

| Steinsalze. | Directe Sonnenstrahlen. Ablenkung | | Sonnenstrahlen, austretend aus dem Milchglase No. II. Ablenkung | | No. V. Ablenkung | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ohne | bei | ohne | bei | ohne | bei |
| | Einschaltung der Steinsalze. | | | | | |
| klar. | 5,63 | 4,5 | 4,75 | 3,5 | 3,50 | 2,5 |
| auf einer Seite matt. | 9,50 | 4,5 | 6,50 | 3,5 | 4,37 | 2,5 |
| auf beiden Seiten matt. | 16,50 | 4,5 | 10,25 | 3,5 | 6,00 | 2,5 |

Hier wird natürlich die Ablenkung nach Entfernen des zweiseitig matten Steinsalzes am beträchtlichsten, die Möglichkeit, die Proportionalitätsgränze zu überschreiten, also bei diesem Versuche am gröfsten. Zudem übertrifft diese Ablenkung die der ersten Versuchsreihe, während andere wiederum auf niedrigere Grade sich beschränken. Aus der vorher angestellten Betrachtung folgt, dafs, wenn die Eigenthümlichkeit des Instruments einen störenden Einflufs ausübt, dieser jetzt nur dahin wirken kann, das Verhältnifs der Zahlen z. B. beim zweiseitig matten Steinsalz vor und nach der Einschaltung noch zu vergröfsern, das beim klaren Steinsalz dagegen zu verkleinern. Ehe dieses Verhältnifs gebildet werden kann, ist noch zu berücksichtigen, dafs die angeführten, direct beobachteten Grade nicht immer die Wirkungen der strahlenden Wärme allein darstellen,

indem die Multiplicatornadel nach Abschlufs derselben höchst selten (wie zufällig bei der ersten Reihe) auf dem Nullpunkt der Theilung steht. So stellte sie sich z. B. beim letzten Versuch, nach Zurückhalten der Wärmestrahlen durch einen doppelten Metallschirm, auf — 0°,5; und von diesem wahren Nullpunkt aus gerechnet, ist sonach für 6 als eigentliche Ablenkung 6°,5 und für 2,5, 3° zu setzen. Auf solche Weise im Einzelnen berichtigt und alsdann in der üblichen Weise auf einander bezogen, gestalten sich die Werthe und ihre Verhältnisse wie folgt:

| Steinsalze. | Directe Sonnen-strahlen. Ablenkung ohne | bei | Sonnenstrahlen, austretend aus dem Milchglase No. II. Ablenkung ohne | bei | No. V. Ablenkung ohne | bei | Directe Sonnen-strahlen. Ablenkung ohne | bei | Sonnenstrahlen, austretend aus dem Milchglase No. II. Ablenkung ohne | bei | No. V. Ablenkung ohne | bei |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Einschaltung der Steinsalze. | | | | | | Einschaltung der Steinsalze. | | | | | |
| klar. | 9,5 | 7,5 | 9,5 | 7,5 | 9,5 | 7,75 | 5,63 | 4,5 | 5,00 | 4 | 3,75 | 3 |
| auf einer Seite matt. | 9,5 | 4,5 | 9,5 | 5,5 | 9,5 | 6,00 | 9,50 | 4,5 | 6,75 | 4 | 4,87 | 3 |
| auf beiden Seiten matt. | 9,5 | 2,5 | 9,5 | 3,5 | 9,5 | 4,50 | 16,50 | 4,5 | 10,50 | 4 | 6,50 | 3 |

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den directen Sonnenstrahlen. | aus dem Milchglase No. II | No. V | directen Sonnenstrahlen. | aus dem Milchglase No. II | No. V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | austretenden Sonnenstrahlen. | | | austretenden Sonnenstrahlen. | |
| klar. | 100 : 79 | 100 : 79 | 100 : 82 | 100 : 80 | 100 : 80 | 100 : 80 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 47 | 100 : 58 | 100 : 63 | 100 : 47 | 100 : 59 | 100 : 62 |
| „ „ matt. | 100 : 26 | 100 : 37 | 100 : 47 | 100 : 27 | 100 : 38 | 100 : 46 |

*Die Uebereinstimmung der Zahlen beider Reihen ist offenbar so vollständig, wie sie sich irgend erwarten läfst.*

Bei einer zweiten Controle wurden die von polirtem Silber und von weifsem Atlas zurückgeworfenen Sonnenstrahlen durch klares und die beiden matten farblosen Gläser hindurchgelassen. Für eine constante Ablenkung anfangs vor, dann nach dem Einschalten erhält man folgende Werthe:

| Gläser. | Sonnenstrahlen, reflectirt von | | | | Sonnenstrahlen, reflectirt von | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | polirtem Silber. | | weifsem Atlas. | | polirtem Silber. | | weifsem Atlas. | |
| | Ablenkung | | Ablenkung | | Ablenkung | | Ablenkung | |
| | ohne | bei | ohne | bei | ohne | bei | ohne | bei |
| | Einschaltung der Gläser. | | | | Einschaltung der Gläser. | | | |
| klar. | 10,5 | 6,50 | 10,5 | 8,50 | 6,00 | 3,5 | 7,93 | 6,75 |
| auf einer Seite matt. | 10,5 | 5,25 | 10,5 | 7,55 | 7,37 | 3,5 | 9,45 | 6,75 |
| auf beiden Seiten matt. | 10,5 | 3,50 | 10,5 | 6,75 | 10,17 | 3,5 | 10,25 | 6,75 |
| nach der dem wahren Nullpunkt entsprechenden Berichtigung: | | | | | | | | |
| klar. | 9,75 | 6,50 | 12 | 8,50 | 5,25 | 3,5 | 9,43 | 6,75 |
| auf einer Seite matt. | 9,75 | 5,25 | 12 | 7,55 | 6,62 | 3,5 | 10,95 | 6,75 |
| auf beiden Seiten matt. | 9,75 | 3,50 | 12 | 6,75 | 9,42 | 3,5 | 11,75 | 6,75 |
| oder, in ihrem Verhältnifs zu einander: | | | | | | | | |
| klar. | 100 : 67 | | 100 : 71 | | 100 : 67 | | 100 : 72 | |
| auf einer Seite matt. | 100 : 54 | | 100 : 63 | | 100 : 53 | | 100 : 62 | |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 36 | | 100 : 56 | | 100 : 37 | | 100 : 57 | |

***Auch hier bleiben die Resultate unverändert.***

Legt man der constanten Angabe nach dem Einschalten nicht (wie so eben) die jeder Reflexion zugehörige eigene geringste Zahl, sondern die bei der anderen erhaltene; also bei der Zurückwerfung vom Silber die beim Atlas beobachtete zu Grunde und umgekehrt, so ergiebt sich:

| Gläser. | Sonnenstrahlen, reflectirt von | | | | Sonnenstrahlen, reflectirt von | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | polirtem Silber. | | weifsem Atlas. | | polirtem Silber. | | weifsem Atlas. | |
| | Ablenkung | | Ablenkung | | Ablenkung | | Ablenkung | |
| | ohne | bei | ohne | bei | ohne | bei | ohne | bei |
| | Einschaltung der Gläser. | | | | Einschaltung der Gläser. | | | |
| klar. | 10,5 | 6,5 | 10,5 | 8,5 | 10,50 | 6,5 | 5,18 | 4,4 |
| auf einer Seite matt. | 10,5 | 5,5 | 10,5 | 7,5 | 12,00 | 6,5 | 6,25 | 4,4 |
| auf beiden Seiten matt. | 10,5 | 4,4 | 10,5 | 6,5 | 15,13 | 6,5 | 7,45 | 4,4 |
| nach der dem wahren Nullpunkt entsprechenden Berichtigung: | | | | | | | | |
| klar. | 10 | 6,5 | 12 | 8,5 | 10,00 | 6,5 | 6,18 | 4,4 |
| auf einer Seite matt. | 10 | 5,5 | 12 | 7,5 | 11,50 | 6,5 | 7,25 | 4,4 |
| auf beiden Seiten matt. | 10 | 4,4 | 12 | 6,5 | 14,63 | 6,5 | 8,45 | 4,4 |
| oder, in ihrem Verhältnifs zu einander: | | | | | | | | |
| klar. | 100 : 65 | | 100 : 71 | | 100 : 65 | | 100 : 71 | |
| auf einer Seite matt. | 100 : 55 | | 100 : 62 | | 100 : 57 | | 100 : 61 | |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 44 | | 100 : 54 | | 100 : 44 | | 100 : 52 | |

*Bei dieser veränderten Combination, welche die Beobachtungsgränzen noch mehr erweiterte, trat ebenso wenig eine mehr als zufällige Erhöhung oder Erniedrigung der nach der ursprünglichen Methode erhaltenen Verhältnifszahlen ein.*

Noch entscheidender aber war eine andere Prüfung, welche mit directen und durch das Milchglas I hindurchgegangenen Sonnenstrahlen, unter Anwendung der Milchgläser II und V als zweiter Schirme, ausgeführt wurde. Hier wurde bei der diathermaneren Platte II mit höheren, von directer Einstrahlung diffuser Wärme herrührenden Ablenkungen experimentirt, als bei dem weniger diathermanen Milchglase V und so der Erhöhung der Verhältnifszahl bei letzterem durch die Nichtproportionalität der galvanometrischen Ablenkungen gerade entgegengewirkt. Die Beobachtung ergab im Vergleich mit den durch das übliche Verfah-
*gelieferten* Werthen:

| Milchgläser. | Directe Sonnenstrahlen. | | Sonnenstrahlen, austretend aus dem Milchglase No. I. | | Directe Sonnenstrahlen. | | Sonnenstrahlen, austretend aus dem Milchglase No. I. | | Directe Sonnenstrahlen. | | Sonnenstrahlen, austretend aus dem Milchglase No. I. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ablenkung | | Ablenkung | | Ablenkung | | Ablenkung | | Ablenkung | | Ablenkung | |
| | ohne | bei | ohne | bei | ohne | bei | ohne | bei | ohne | bei | ohne | bei |
| | Einschaltung der Milchgläser. | | | | Einschaltung der Milchgläser. | | | | Einschaltung der Milchgläser. | | | |
| No. II. | 16,5 | 6,4 | 16,5 | 11,50 | 11,5 | 4,13 | 11,5 | 7,5 | 30,5 | 11,50 | 10,5 | 6,75 |
| No. V. | 16,5 | 3,5 | 16,5 | 7,75 | 6,5 | 1,50 | 6,5 | 2,6 | 37,0 | 7,75 | 7,5 | 3,35 |
| | nach der dem wahren Nullpunkt entsprechenden Berichtigung: | | | | | | | | | | | |
| No. II. | 15 | 5,15 | 15 | 10,25 | 10 | 3,28 | 10 | 6,75 | 29,0 | 10,00 | 9 | 6,0 |
| No. V. | 15 | 2,25 | 15 | 6,50 | 5 | 0,75 | 5 | 2,10 | 35,5 | 6,25 | 6 | 2,6 |
| | oder, in ihrem Verhältnifs zu einander: | | | | | | | | | | | |
| No. II. | 100 : | 34 | 100 : | 68 | 100 : | 33 | 100 : | 67,5 | 100 : | 34 | 100 : | 67 |
| No. V. | 100 : | 15 | 100 : | 43 | 100 : | 15 | 100 : | 42,0 | 100 : | 18 | 100 : | 43 |

Mit einer einzigen Ausnahme, in welcher die Ablenkung ohne Einschaltung auf 37°, also jedenfalls über die Proportionalitätsgränze [1]) hinausging, *stimmen auch hier die entsprechenden Verhältnisse, so mannigfach die Höhen der galvanometrischen Angaben sind, aus denen sie hervorgegangen, aufs Vollständigste überein.*

In keinem der vorher mitgetheilten, und hier am Durchstrahlungs- wie am Reflexionsverfahren, für jede einzelne in Betracht kommende matte oder trübe Substanz geprüften, Werthe hat also die Eigenthümlichkeit des Instruments irgendwie die erhaltenen Resultate beeinflufst oder gar begünstigt.

Es steht also von keiner Seite her das leiseste Bedenken dem *Diffusionsgesetze* entgegen, wonach *die — in Folge der Durchstrahlung oder der Reflexion — diffuse Wärme* 1) *desto reichlicher durch diffundirende Schirme hindurchgeht, je diffuser ihre Strahlen*; 2) *im Vergleich mit den parallelen Strahlen, je diffundirender die Schirme.*

---

Diese Ergebnisse leiten nun auch auf den richtigen Weg zum Verständnifs derjenigen, bisher noch unerklärten, Durchstrahlungserscheinungen, welche die Wärme verschiedener Quellen darbietet, und von denen die vorliegende Untersuchung ausging.

Wie ein diffundirender Schirm Strahlen liefert, die von einer Anzahl von Punkten ausgehend, nach den verschiedensten Seiten hin gerichtet sind, so ist diefs bei jeder Wärmequelle der Fall. Bei einer irdischen kommen diese nach allen Seiten sich ausbreitenden Strahlen zur Geltung, bei der Sonne hat der Versuch nur mit parallelen Strahlen zu thun. *Es ist daher dem Vorstehenden vollkommen entsprechend, wenn die Strahlen irdischer Wärmequellen durch rauhe und trübe Medien reichlicher hindurchgehen als die Sonnenstrahlen.*

Einer näheren Untersuchung bedarf nur noch das Ver-

1) 25° bei dem angewandten Multiplicator, nach einer späterhin an demselben vollzogenen Graduirung.

halten *verschiedener irdischer Wärmequellen*. Welchen Einfluſs haben bei ihnen die innere Beschaffenheit, die äuſseren Verhältnisse derselben, ihr Abstand, die besonderen Umstände des Experiments usw. auf die Durchstrahlung durch die diffundirenden Schirme?

Ich verglich unter einander eine gewöhnliche Alkoholflamme, eine solche, deren Docht mit Kochsalz eingerieben war, und ein Stück Steinsalz, das durch eine Alkoholflamme erhitzt wurde, welche selbst aber diesmal durch einen Metallschirm gegen die Thermosäule verdeckt war. Ferner stellte ich eine Alkoholflamme ohne und eine mit rothglühendem Platin; eine Wasserstoffflamme ohne und mit hineingehaltener und dadurch weiſsglühender Kreide zusammen. Wie die Helligkeit, so nahm auch das Wärmeausstrahlungsvermögen durch die erhitzten festen Körper zu. Als Anhalt zum Vergleich der Versuche verschiedener Tage wurde jedesmal eine Argand'sche Lampe ohne Glascylinder hinzugefügt. Auf diese bezogen, stellen die Werthe der folgenden Tabelle die Durchstrahlung der Wärme der genannten Quellen durch klares, einseitig und zweiseitig mattes *Steinsalz* dar.

| Steinsalze. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | der Alkoholflamme allein. | der Alkoholflamme mit Kochsalz. | dem erhitzten Steinsalz. | der Alkoholflamme allein. | der Alkoholflamme mit glühendem Platin. | der Wasserstoffflamme allein. | der Wasserstoffflamme mit glühender Kreide. | der Argand'schen Lampe. |
| klar. | 100:79 | 79,5 | 78,5 | 79 | 78,5 | 79 | 79 | 79 |
| auf einer Seite matt. | 100:66 | 66,0 | 66,0 | 66 | 66,0 | 66 | 66 | 66 |
| auf beiden Seiten matt. | 100:54 | 54,5 | 54,0 | 54 | 52,0 | 54 | 54 | 54 |

Es ist demnach kein Unterschied in der Durchgangsfähigkeit der Strahlen dieser, *ihrer ganzen Natur, namentlich ihrem Ausstrahlungsvermögen nach, so verschiedenartigen Wärmequellen* durch die Steinsalzplatten wahrzunehmen.

Ebenso wenig traten Unterschiede auf, als die Wärmestrahlen von der metallischen oder der mit Rufs oder Glas bekleideten Fläche eines, mit heifsem Wasser gefüllten, Leslie'schen Würfels ausgingen.

Um so überraschender war es mir, eine von Forbes [1]) zuerst an aufgeblätterten Glimmer, dann am Steinsalz gemachte Beobachtung bestätigt zu finden, wonach die Wärme einer mit einem Glascylinder versehenen Lampe in geringerem Verhältnifs als die einer frei brennenden durch die matten Substanzen hindurchstrahlte. Die folgende Uebersicht enthält die näheren Data bei den obigen Steinsalzen.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei der Argand'schen Lampe | |
|---|---|---|
| | ohne | mit |
| | Glascylinder. | |
| klar. | 100 : 87 | 86,0 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 70 | 62,5 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 60 | 50,5 |

Forbes [2]) bringt diesen Vorgang mit der gröfseren Brechbarkeit der durch Glas hindurchgedrungenen und demgemäfs von rauhen Körpern leichter absorbirbaren Strahlen in Zusammenhang; mir war derselbe nach den gemachten Erfahrungen völlig räthselhaft.

Um darüber ins Klare zu kommen und zugleich die Versuche möglichst umfassend anzustellen, zog ich, neben der Argand'schen Lampe ohne und mit Glascylinder, auch eine solche mit einer Glocke von Milchglas, ferner eine sogenannte Moderateurlampe ohne und mit Glascylinder, mit mattgeschliffener Glaskugel, sowie mit Cylinder und Kugel in den Vergleich. Ueberdies änderte ich die Methode des Versuchs ab. Bei der vorigen war die constante Ablenkung am Thermomultiplicator vor jeder Einschaltung

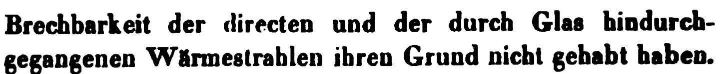
1) Pogg. Annal. LI, 89, 97, 98, 99, 100, 104, 105, 109.
2) Pogg. Annal. LI, 90, 92—97, 100, 103, 106.

einer Steinsalzplatte durch Hin- und Herrücken der Wärmequelle oder Höher- und Niedrigerschrauben der Flamme herbeigeführt worden. Jetzt wurde, ähnlich wie bei den Versuchen mit Sonnenstrahlen, ein Schirm mit Spalt vor der Wärmequelle aufgestellt und, indem dieser eine gleichbleibende Entfernung von der Thermosäule und eine unveränderte Flammengröfse belassen wurde, die zur Säule gelangende Wärmemenge durch die mittelst einer Mikrometerschraube fein zu corrigirende Spaltbreite regulirt. Waren durch diesen Spalt und die Blendung vor der Thermosäule schon die zu der letzteren gelangenden Strahlen begränzt, so wurden sie diefs noch mehr durch eine zwischen ihnen an einem dritten durchbrochenen Schirm angebrachte (bereits oben erwähnte) Röhre, welche, innen geschwärzt, die Nebenstrahlen absorbiren sollte. Auf diese Weise waren, bei den ungleich beschaffenen und verschieden geformten Glashüllen und den sehr ungleich ausstrahlenden Wärmequellen, möglichst identische äufsere Verhältnisse herbeigeführt worden.

Die Beobachtung aber ergab unter diesen Umständen die in der nachstehenden Tafel aufgeführten (an die erste Tabelle sich anschliefsenden) Werthe:

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: der Argand'schen Lampe ohne Glascylinder | mit Glascylinder | mit Milchglasglocke | der Moderateur-Lampe ohne Glascylinder | mit Glascylinder | mit mattgeschliffener Glaskugel | mit Glascylinder und Kugel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| klar. | 100:79 | 79 | 79,0 | 79 | 79 | 79 | 79 |
| auf einer Seite matt. | 100:66 | 66 | 65,5 | 67 | 66 | 66 | 66 |
| auf beiden Seiten matt. | 100:54 | 54 | 54,0 | 54 | 54 | 54 | 54 |

*Die vorher wahrgenommenen Unterschiede sind jetzt vollständig verschwunden.* Sie können also in einer ungleichen





Brechbarkeit der directen und der durch Glas hindurchgegangenen Wärmestrahlen ihren Grund nicht gehabt haben.

Es wurden nun demselben Verfahren diejenigen Wärmequellen unterworfen, welche unter den irdischen in jeder Hinsicht die gröfsten Verschiedenheiten darbieten: die frei brennende **Argand**'sche Lampe und der dunkle erhitzte Metallcylinder. Das Ergebnifs war folgendes:

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: | |
|---|---|---|
| | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
| klar. | 100 : 79 | 79 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 66 | 66 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 54 | 54 |

*Die vielbesprochene Verschiedenheit in der Durchstrahlung der Wärme l ieser Quellen, welche die ganze Untersuchung veranlafst und deren Erklärung sie sich als Ziel gesetzt hatte, ist jetzt unter den Händen verschwunden.*

Bei der Wichtigkeit dieser Beobachtung ist sie wiederholentlich von mir controlirt worden und habe ich mich dabei überzeugt, dafs selbst die geschwärzte Röhre und die Blendungen an den Steinsalzen nicht durchaus erforderlich sind, vielmehr drei hinter einander aufgestellte durchbrochene Schirme genügen, um jene Gleichheit herbeizuführen.

*Die ungleiche Temperatur der Wärmestrahlen, worauf man die gedachte Verschiedenheit auch zu beziehen gesucht hat, kann also, eben so wenig* wie die anderen, bereits einzeln beseitigten Gesichtspunkte, *einen Erklärungsgrund für dieselbe abgeben.*

Unseren Erfahrungen nach, *ist für den Durchgang durch die matten Steinsalze das wesentlich Bestimmende, ob parallele oder von einer gröfseren oder geringeren Anzahl von Punkten ausgehende, mehr oder minder mannigfach gerichtete Strahlen auf dieselbe auffallen.* Gehen bei einer irdischen Wärmequelle von jedem Punkte schon Strahlen nach

allen Richtungen aus, so kann das Hinzufügen eines neuen ausstrahlenden Körpers, wie bei der ersten, oder das Umgeben mit einem matten oder Milchglase, wie bei der letzten Versuchsreihe, keinen Einfluſs auf die in Rede stehenden Erscheinungen ausüben. Ist die Anordnung der Versuche so getroffen, daſs jene Bestrahlungsverhältnisse gleich sind, so geht durch das nämliche Steinsalz stets derselbe Wärmeantheil hindurch, die Wärmequellen mögen im Uebrigen beschaffen seyn, wie sie wollen.

Bei andern Körpern als beim Steinsalz, welche nicht wie dieses gegen die Art der Wärmestrahlen (»die Wärmefarbe«) gleichgültig sind, ist dieſs natürlich nicht der Fall. Das Einzige, was bei ihnen, z. B. den matten Gläsern und den Milchgläsern, sich erwarten läſst, ist, daſs bei Anwendung der drei durchbrochenen Schirme die Durchgänge der Wärme der Argand'schen Lampe und des erhitzten Metallcylinders durch die matten und trüben Medien sich gerade so zu einander verhalten wie bei einer klaren Platte gleicher Substanz. So weit die Versuche reichen, hat die Annäherung an dieses constante Verhältniſs sich nicht verkennen lassen. Es ist hier der Weg angezeigt, die auswählende Absorption eines Milchglases, abgesehen von seiner mechanischen Trübung, den betreffenden Wärmequellen gegenüber, kennen zu lernen.

Die Richtigkeit der bezeichneten Auffassungsweise wird durch den *Einfluſs* bestätigt, *welchen jede Aenderung in der Anstellung der Versuche auf die Durchstrahlungserscheinungen ausübt.*

Die folgenden Tabellen enthalten einige charakteristische Beispiele dieser Art. Die erste stellt die Fälle einander gegenüber, in deren einem die mit ihrer Blendung versehene Thermosäule ohne weitere Vorkehrung den Wärmestrahlen ausgesetzt war, im anderen die drei durchbrochenen Schirme angewandt wurden. Die vor der Säule einzuschaltenden Steinsalze waren mit ihren Blendungen versehen.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | der Argand'schen Lampe, | dem heifsen Metallcylinder, | der Argand'schen Lampe, | dem heifsen Metallcylinder, |
| | ohne besondere Vorkehrung. | | bei drei durchbrochenen Schirmen. | |
| klar. | 100 : 84,5 | 84,0 | 79 | 78,5 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 65,5 | 79,5 | 72 | 72,0 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 50,5 | 75,5 | 60 | 60,0 |

Die bekannte Ungleichheit der Durchstrahlung und das Verschwinden derselben sind hierin bezeichnend.

Die Gleichheit der Durchstrahlung erhält sich bei Hinzufügung der kurzen (92$^{mm}$ langen) geschwärzten Röhre, doch läfst eine längere (von 171$^{mm}$) wieder Unterschiede auftreten:

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | der Argand'schen Lampe, | dem heifsen Metallcylinder, | der Argand'schen Lampe, | dem heifsen Metallcylinder, |
| | bei kurzer geschwärzter Röhre. | | bei langer geschwärzter Röhre. | |
| klar. | 100 : 79 | 79 | 78,5 | 78,5 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 66 | 66 | 69,0 | 78,0 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 54 | 54 | 57,0 | 67,0 |

Der Grund dieser Verschiedenheit ist in einer, durch die längere Röhre bedingten, sehr ungleichen Stellung der beiden Wärmequellen, vielleicht auch zum Theil in dem Umstande zu suchen, dafs dieselbe die flach auffallenden Strahlen nicht vollständig absorbirte.

Eine 171$^{mm}$ lange, innen mit weifsem Papier bezogene, Röhre und eine ebenso lange von polirtem Metall, so wie

ein polirter Metallkegel stellten die Gleichheit wieder her, bewirkten aber Durchgänge von unter sich sehr ungleichem absolutem Betrage.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | der Argand'schen Lampe, | dem heifsen Metallcylinder, | der Argand'schen Lampe, | dem heifsen Metallcylinder, | der Argand'schen Lampe, | dem heifsen Metallcylinder, |
| | bei weifser Röhre. | | bei polirter Röhre. | | bei polirtem Kegel. | |
| klar. | 100 : 74 | 74 | 79 | 79 | 95,5 | 95,5 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 73 | 73 | 71 | 71 | 87,5 | 87,5 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 59 | 59 | 66 | 66 | 75,0 | 75,0 |

Es war hierin ein Mittel gegeben, durch Anbringung z. B. des metallenen Kegels bei den Strahlen der Argand'schen Lampe, (wodurch nichts an ihren Eigenschaften geändert wird) die ursprüngliche Erscheinung in dem Grade umzukehren, dafs, an Stelle der Wärme des erhitzten Metallcylinders, vielmehr die der Lampe reichlicher als die andere durch die matten Steinsalzplatten hindurchging. Freilich ist dabei zu berücksichtigen, dafs bei dieser Gelegenheit auch die Durchstrahlung durch das klare Steinsalz vermehrt wird, und dafs eine solche, allen gemeinsame Steigerung zuvor in Abrechnung zu bringen wäre, ehe weitere Schlüsse auf das besondere Verhalten gegen die matten Steinsalze gezogen werden könnten. Um derartige, auf alle Platten bezügliche Wirkungen von den, den matten ausschliefslich zukommenden unterscheiden oder etwaige Nebeneinflüsse beurtheilen zu können, ist eben das klare Steinsalz stets den übrigen beigegeben worden. Fälle, in denen dieses für sich schon Unterschiede bei verschiedenen Wärmequellen zu erkennen gab, sei es ohne Blendung vermöge einer inneren Reflexion oder sei es in Folge der Blendung durch ein ungleiches Zurückhalten der Strahlen, konnten bei den Vergleichen gar nicht in Betracht kommen.

Eine Frage bot hier noch ein besonderes Interesse dar. Es war eine einfache Folgerung des allgemeinen, von uns für die Durchstrahlung durch matte Substanzen aufgefundenen, Princips, daſs bei einer und derselben Wärmequelle das Durchstrahlungsverhältniſs am gröſsten bei unmittelbarer Nähe derselben, im Minimum bei unendlicher Ferne stattfinden müſste. War es möglich, eine derartige Aenderung mit dem Abstande der nämlichen Wärmequelle schon innerhalb des Bereiches der Versuche wahrzunehmen?

Die Thermosäule wurde, wie bisher, mit ihrem 70$^{mm}$ langen Ansatzrohre, welches die Blendung trug, versehen; etwa 40$^{mm}$ von dieser, um für das Einschalten der Steinsalze Raum zu lassen, der durchbrochene Schirm mit der geschwärzten Röhre aufgestellt und vor der letzteren eine und dieselbe Wärmequelle in wechselnder Entfernung. Diese aber wurde von der Röhre an bis zu der Mitte der sichtbaren Flamme oder beim dunkeln erhitzten Cylinder bis zu dessen Vorderfläche gemessen. Um durch directe Einstrahlung auf die Thermosäule immer die nämliche Ablenkung am Multiplicator hervorzubringen, wurde die betreffende Flamme beim Annähern verkleinert, beim Entfernen vergröſsert. Die Durchstrahlungsverhältnisse gestalteten sich alsdann bei der frei brennenden, der mit einem Glascylinder und der mit dem Metallcylinder versehenen Lampe wie folgt:

| Steinsalze | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | der Argand'schen Lampe, bei | | | | der Argand'schen Lampe mit Glascylinder, | | dem heifsen Metallcylinder, | |
| | kurzer | | langer | | bei kurzer geschwärzter Röhre, | | | |
| | geschwärzter Röhre, | | | | | | | |
| | 40mm | 120mm | 30mm | 120mm | 30mm | 145mm | 50mm | 150mm |
| | Entfernung. | | | | Entfernung. | | | |
| klar. | 100 : 81,5 | 82 | 78,0 | 78,0 | 80,0 | 80,0 | 82 | 81,0 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 76,0 | 71 | 72,5 | 65,5 | 75,0 | 67,5 | 75 | 75,0 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 66,0 | 54 | 62,0 | 54,0 | 62,5 | 51,5 | 71 | 62,5 |

*Die Abnahme des Durchstrahlungsverhältnisses durch die matten Schirme mit der Zunahme der Entfernung der Wärmequellen hat sich über Erwarten deutlich bei jeder einzelnen derselben herausgestellt.*

Man konnte selbst hoffen, auf diese Weise, bei vollkommen constanter Durchstrahlung durch das klare Steinsalz, eine Umkehr der Durchstrahlungsverhältnisse bei den trüben Exemplaren eintreten zu sehen. Da die Werthe getrennter Abtheilungen der obigen Tabelle nicht zusammenstellbar sind, so mufste eine neue Versuchsreihe zum Vergleiche der verschiedenen Wärmequellen in gedachter Rücksicht vorgenommen werden.

Die Ergebnisse derselben bei frei brennender Argand'scher Lampe und erhitztem Metallcylinder waren folgende:

| Steinsalze. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | der Argand'schen Lampe, | dem heiſsen Metallcylinder, | der Argand'schen Lampe, | dem heiſsen Metallcylinder, |
| | bei kurzer geschwärzter Röhre, | | | |
| | 220mm | 30mm | 50mm | 130mm |
| | Entfernung. | | | |
| klar. | 100 : 79 | 79 | 80 | 79 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 65 | 78 | 77 | 71 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 53 | 69 | 70 | 64 |

In der That, *der bloſse Wechsel des Abstandes der Wärmequellen hat die Strahlen der Argand'schen Lampe und des heiſsen Metallcylinders ihre Rollen, den matten Steinsalzen gegenüber, vollständig vertauschen lassen.* Während, der ursprünglichen Entdeckung gemäſs, bei fernstehender Lampe eine geringere Durchstrahlung ihrer Wärme als der des nahen Cylinders durch jene Platten erfolgt, übertrifft dieselbe bei nahegerückter Lampe den Durchgang der Wärme des ferneren Cylinders.

Ein Uebelstand des bisherigen Verfahrens bestand darin, daſs die Ausdehnung der Flamme und die Temperatur des Metalls geändert wurden; ein Wechsel, welcher nur in sofern weniger schädlich war, als die Art, wie derselbe vorgenommen wurde, dem erwarteten und erhaltenen Resultate entgegenwirkte.

Um ihn zu beseitigen, erzielte ich die Constanz der anfänglichen Ablenkung am Multiplicator dadurch, daſs ich, beim Näherrücken der unveränderten Wärmequelle, einen regulirbaren Gegenstrom durch das Instrument hindurchgehen lieſs. Das eigentliche Experiment wurde jetzt auf keine Weise beeinträchtigt und es war auch bei naher Wärmequelle möglich, die Ablenkungen innerhalb derjenigen Gränzen zu halten, für welche sie den erzeugenden Kräften als proportional betrachtet werden konnten. Das obige Ergebniſs ist auf diese Weise vollständig bestätigt worden.

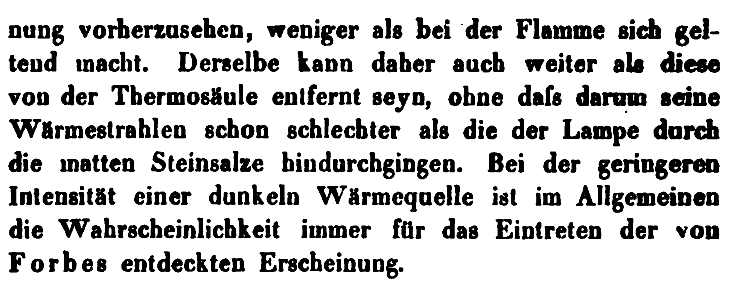
Bei Weitem vorzuziehen aber ist es, die constante Ablenkung bei directer Einstrahlung durch einen entsprechenden Widerstand zu bewirken, weil hier der Ausgangspunkt der galvanometrischen Angaben fast unverrückt bleibt, während er sich durch den Gegenstrom bis zu 13,5 Graden verschob. Um noch näher an die Thermosäule heran zu gelangen, wurde die geschwärzte Röhre fortgelassen, die Entfernungen der Wärmequellen von dem an seiner Stelle belassenen durchbrochenen Schirme aus gemessen. Bei dem gröfseren Abstande war gar kein Widerstand, bei dem geringsten bis zu 40 Windungen eines auf eine Serpentinwalze von 70$^{mm}$ Durchmesser gewickelten, 0,25$^{mm}$ dicken Neusilberdrahts eingeschaltet.

Die unter solchen Umständen bei gleichbleibender Gröfse und Temperatur der Wärmequellen sich ergebenden Durchstrahlungsverhältnisse stellt die folgende Uebersicht dar.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei: der Argand'schen Lampe ohne Glascylinder, 40$^{mm}$ Entfernung | der Argand'schen Lampe ohne Glascylinder, 220$^{mm}$ | der Argand'schen Lampe mit Glascylinder, 40$^{mm}$ | der Argand'schen Lampe mit Glascylinder, 220$^{mm}$ | dem heifsen Metallcylinder, 50$^{mm}$ Entfernung | dem heifsen Metallcylinder, 400$^{mm}$ | der Argand'schen Lampe, 30$^{mm}$ Entfernung | dem heifsen Metallcylinder, 340$^{mm}$ Entfernung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| klar. | 100:80 | 79 | 82 | 79 | 81 | 80 | 81 | 80 |
| auf einer Seite matt. | 100:74 | 64 | 73 | 64 | 79 | 66 | 75 | 64 |
| auf beiden Seiten matt. | 100:73 | 55 | 71 | 55 | 79 | 55 | 74 | 60 |

Diese Werthe sind in mehrfacher Beziehung von Interesse. Zunächst zeigen sie den *Einflufs der Entfernung der Wärmequelle* in jedem einzelnen Falle und die dadurch bewirkte *Umkehr der Durchstrahlungsverhältnisse bei der Lampe und dem heifsen Cylinder in gesteigertem Maafse.*

Es ist dabei zu bemerken, dafs der Einflufs des Entfernens bei dem letzteren, wie bei dessen gröfserer Ausdeh-





nung vorherzusehen, weniger als bei der Flamme sich geltend macht. Derselbe kann daher auch weiter als diese von der Thermosäule entfernt seyn, ohne dafs darum seine Wärmestrahlen schon schlechter als die der Lampe durch die matten Steinsalze hindurchgingen. Bei der geringeren Intensität einer dunkeln Wärmequelle ist im Allgemeinen die Wahrscheinlichkeit immer für das Eintreten der von Forbes entdeckten Erscheinung.

Vollkommen verständlich wird jetzt auch eine Erfahrung, welche mich früher oftmals beunruhigt hatte. Bei dem Beginn einer Versuchsreihe gelang das Forbes'sche Experiment vortrefflich: die Strahlen des Metallcylinders gingen bedeutend besser als die der Lampe durch die trüben Platten hindurch; je öfter dasselbe aber wiederholt wurde, desto mehr schwand es Einem unter den Händen und nach stundenlanger Benutzung der Lampe war es oft kaum möglich, die ursprüngliche Erscheinung mit Sicherheit wieder hervorzurufen! Natürlich: die offene Flamme brannte mit ihrem verkohlenden Dochte allmählich immer schlechter, auch wurde die Temperatur der Umgebung allmählich höher und die Rückseite der Thermosäule immer wärmer; die Lampe mufste daher der Säule und den Steinsalzen näher und näher gerückt werden und so geschah es, dafs der Durchgang ihrer Strahlen beständig reichlicher, dem der Wärme des Cylinders immer ähnlicher wurde. Günstiger gestalteten sich die Verhältnisse, als ich die Versuche in neuester Zeit mit einem, durch Gas gespeisten Argand'schen Brenner und einem, durch eine Gasflamme erhitzten Metallcylinder wiederholte.

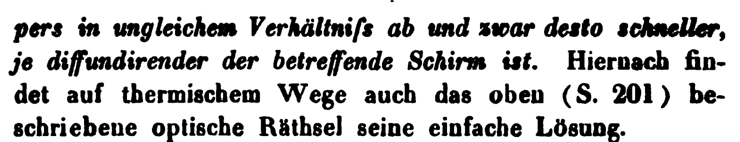
Die Umkehr der betreffenden Durchstrahlungen beseitigt vollends jede frühere, an den urprünglichen Versuch speciell geknüpfte Theorie.

Dasselbe gilt von den Seite 240 erwähnten, bei der Argand'schen Lampe ohne und mit *Glascylinder* beobachteten Verschiedenheiten. Mit Letzterem ist sie in der Regel ferner als ohne denselben aufzustellen, um die *nämliche* Ablenkung am Thermomultiplicator hervorzubringen,

daher der Durchgang ihrer Strahlen geringer. Die S. 241 beschriebene, für die Beurtheilung des Vorhandenseyns einer auswählenden Absorption normalste Methode mit den drei durchbrochenen Schirmen hatte sie bereits verschwinden sehen. Die letzten S. 249 mitgetheilten Beobachtungen aber lassen die Verschiedenheiten in entgegengesetztem Sinne auftreten, indem die Wärme der ferner stehenden Argand'schen Lampe ohne Cylinder eine geringere Durchstrahlung als die der näheren mit Glascylinder darbietet.

Die direct nachgewiesene Abnahme des die trüben Medien durchdringenden Antheils der Strahlen mit der Entfernung der Wärmequelle bildet auch den unmittelbaren Uebergang zu der so überraschend geringen, bei Benutzung der *Sonne* wahrgenommenen Durchstrahlung (S. 198 u. ff.). Es ist nicht zu bezweifeln, dafs bei den matten Steinsalzen der Contrast in dem Verhalten der Wärme des dunklen Cylinders und derjenigen der Sonne nur in dem ungleichen Abstande beider zu suchen ist und bei Annäherung der Sonne verschwinden würde. Eine durch Linsen bewirkte, von endlicher Ferne aus stattfindende Divergenz der Strahlen würde eine wirkliche Annäherung nicht ersetzen. Denn die blofse *Divergenz von einem Punkte aus* bedingt (nach S. 211) keine Erhöhung des Durchgangs. Es bliebe, wie bei dem Vergleich mit der *Diffusion*, auch hier noch der Unterschied zwischen Einheit und Mehrheit.

Vergleicht man die, verschiedenen diffundirenden Schirmen angehörigen, Zahlen mit einander, so ersieht man, dafs sie bei naher Wärmequelle einander näher stehen, als in den Fällen der fern herkommenden Strahlen. So geben z. B. (nach der Tabelle S. 249) die von dem $50^{mm}$ entfernten Metallcylinder ausgesandten Wärmestrahlen in dem gleichen Verhältnifs: 79 von 100 der auffallenden Menge sowohl durch das einseitig wie durch das zweiseitig matte Steinsalz hindurch, dagegen bei $400^{mm}$ Abstand des heifsen Metalls durch jenes 66, durch dieses 55 von 100. *Bei verschiedenen matten oder trüben Substanzen nimmt also die Durchstrahlung mit der Entfernung des ausstrahlenden* Kör-





*pers in ungleichem Verhältnifs ab und zwar desto schneller, je diffundirender der betreffende Schirm ist.* Hiernach findet auf thermischem Wege auch das oben (S. 201) beschriebene optische Räthsel seine einfache Lösung.

Schliefslich möchte ich noch hinzufügen, dafs eine früher (S. 221) gemachte Bemerkung, wonach das Hin- und Herrücken eines ersten diffundirenden Schirms ohne merklichen Einflufs auf die Durchstrahlung durch einen zweiten sich erwiesen, nicht mit dem zuletzt aufgestellten Satze im Widerspruch steht, indem sowohl die damalige Methode des Experimentirens, bei welcher noch ein Metallschirm mit Spalt in den Gang der Strahlen eingeschaltet wurde, eine andere, als auch der Wechsel der Entfernung in viel engere Gränzen eingeschlossen war. Dafs übrigens der Einflufs des Abstandes der Wärmequelle, wo er bei dem Durchstrahlungsverhältnifs sich geltend machte, in der That an das Wesen der matten und trüben Schirme gebunden war, hat, neben dem Verhalten des klaren Steinsalzes, eine mit den verschiedensten glatten und klaren Substanzen angestellte Reihe von Gegenversuchen bestätigt, welche bei jeder Entfernung eine gleiche Durchgangsfähigkeit der Wärmestrahlen erkennen liefs. Es ist dabei zweckmäfsig, so grofse diathermane Platten anzuwenden, dafs sie die Oeffnung der Thermosäule hinreichend überragen, um die Blendungen unnöthig zu machen.

Wenn andererseits den trüben Medien constante Absorptionsverhältnisse nicht zuzuschreiben sind, vielmehr die Methode des Experimentirens an den Ergebnissen den wesentlichsten Antheil hat, so erhellt unmittelbar, welche Vorsicht bei dem Vergleiche der einzelnen Beobachtungen und bei der Deutung dieser Thatsachen geübt werden mufs.

### III. Berufstes Steinsalz.

Melloni [1]) hat bekanntlich zuerst die Beobachtung gemacht, dafs mit Rufs überzogenes Steinsalz, abweichend von

1) *Compt. rend.* IX, 315; X, 537 ff. — *Ann. de Chim. et de Phys.* LXXII, 40; LXXV, 379. — *Thermochrôse*, 281—288, 302, 307—313. — Pogg. Annal XLVIII, 329, 330; XLIX, 577—580; LIII, 52.

allen bis dahin von ihm untersuchten Substanzen, den Wärmestrahlen niederer Temperatur oder geringerer Brechbarkeit einen reichlicheren Durchgang als denen höheren Wärmegrades und gröſserer Brechbarkeit gestatte. Forbes [1]), ich [2]) selbst, später Volpicelli [3]) und Tyndall [4]) haben diese Erscheinung bestätigt gefunden. Widersprochen ist derselben nur von Zantedeschi [5]) und Fusinieri [6]), von denen der Erstere jedoch neuerdings [7]) eine, seiner früheren entgegengesetzte, mit Melloni's übereinstimmende Beobachtung mittheilt und der Letztere überhaupt kein Experiment für seine Behauptung in Anspruch nimmt.

Forbes [8]) erblickte in jenem Vorgange einen ähnlichen Fall wie den von ihm aufgefundenen des reichlicheren Durchlasses der bezeichneten Strahlen durch Platten mit rauher Oberfläche. Später [9]) neigt er sich zwar Melloni's Auffassungsweise zu, wonach die Ruſsschicht vermöge ihrer inneren absorbirenden Beschaffenheit, nicht vermöge ihres mechanischen Gefüges wirke, findet indeſs seine Zweifel nicht vollständig gehoben. Matthiessen [10]) ist ebenfalls der Meinung, daſs, auf Steinsalz ausgebreiteter, Ruſs wegen Mangels an Politur mehrere Auslegungen zulasse.

Es ist mir in der vorliegenden Untersuchung darauf an-

1) *Trans. of the Roy. Soc. of Edinb. Vol. XV, pt. I.* — *Compt. rend.* X, 19. — Pogg. Annal. LI, 100, 101, 102, 105, 403.
2) *De calore radiante disquisitiones cet. p.* 19. — Pogg. Annal. LXX, 226.
3) *Compt. rend. XXXV*, 954.
4) *Philos. Magaz. 4th series, XXIV*, 283, 284. — Pogg. Annal. CXVI, 18, 19.
5) *Racc. fis. chim. ital.* II, 293—297, besonders 296, 304. *Cenni di alcuni studi sperimentali fatti nell' Agosto e Settembre del* 1848 *in Firenze p.* 6.
6) *Annali delle Scienze del Regno Lombardo Veneto* 1841, *p.* 227. (*Racc. II*, 282.)
7) Sitzungsber. der kais. Acad. zu Wien XXIV, 47—49.
8) Pogg. Annal. LI, 90, 99, 100.
9) Pogg. Annal. LI, 103, 398.
10) *Compt. rend.* XVI, 763. — Pogg. Annal. LIX, 171.

gekommen, zu ermitteln, ob, der Melloni'schen Behauptung nach, das berufste Steinsalz eine *auswählende*, namentlich auf Strahlen geringerer Brechbarkeit gerichtete *Absorption* ausübe oder, der ursprünglichen Forbes'schen Ansicht gemäfs, die an ihm wahrgenommene Erscheinung durch die *mechanische Beschaffenheit der Oberfläche* bedingt und somit der an rauhen Schirmen beobachteten vergleichbar sey.

Um dasjenige berufste Steinsalz, welches dieser Prüfung unterworfen werden sollte, zunächst in Betreff der Haupterscheinung kennen zu lernen, so wie die bisherigen Facta durch Hinzufügung der Sonnenwärme zu vervollständigen verglich ich die Durchstrahlungen durch ein, auf einer Seite ziemlich dick berufstes, Stück Steinsalz bei der Sonne, der Argand'schen Lampe und dem dunkeln erhitzten Cylinder. Diese Durchstrahlungen, auf die gleich 100 gesetzte, zur Vorderfläche jener Platte gelangende Wärmemenge bezogen finden sich in der nachstehenden Tabelle.

| Diathermaner Körper. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten des berufsten Steinsalzes zur Thermosäule gelangten, bei: | | |
|---|---|---|---|
| | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
| berufstes Steinsalz. | 100 : 1,4 | 12 | 23 |

*Die Unterschiede in dem Durchlafs der Wärme der Sonne und des heifsen Metallcylinders schliefsen sich den gröfsten bisher beim berufsten Steinsalz bekannten an.*

Der Frage nach dem Vorhandenseyn einer *auswählenden Absorption* bei Letzterem näher zu treten, liefs ich nach einander lauter parallele, in ihren Eigenschaften aber sich unterscheidende, Wärmestrahlen, wie sie beim Einschalten verschiedenartiger diathermaner Körper: Gläser, Gyps, Alaun, Kalkspath, Glimmer in den Gang der Sonnenstrahlen erhalten werden, auf das berufste Steinsalz auffallen und untersuchte, ob dieses ihnen den Durchlafs in ungleichem oder allen in gleichem Verhältnifs gestatten würde. Demselben wurde noch eine Platte braunen Glimmers

wie ein mattes Steinsalz beigegeben, von denen die erstere ihm hinsichtlich der Farbe, das letztere in der Rauheit der Oberfläche vergleichbar war.

Die beobachteten Durchgänge sind in den folgenden Zahlen vertreten.

| Diathermane Körper. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, nach der Durchstrahlung von: | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Steinsalz oder bei directer Sonnenwärme. | dunkelrothem Glase. | hellrothem Glase. | grünem Glase. | blauem Glase. | gelbem Glase. | farblosem Glase. | Gyps. | Alaun. | Kalkspath. | drei Platten braunen Glimmers. |
| beruſstes Steinsalz. | 100 : 1,6 | 3,6 | 3,4 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,4 | 3,6 |
| brauner Glimmer. | 100 : 72 | 79 | 76 | 72 | 71 | 79 | 71 | 72,0 | 71 | 70 | 79 |
| rauhes Steinsalz. | 100 : 33 | 34 | 34 | 33 | 34 | 34 | 33 | 33,5 | 32 | 32 | 34 |

Ein Blick auf diese Tafel zeigt, dafs das berufste Steinsalz in seinem Verhalten gegen verschiedenartige Wärmestrahlen dem braunen Glimmer, nicht dem rauhen Steinsalz sich anschliefst, indem es wie jener z. B. die aus den rothen Gläsern und den Glimmerplatten austretenden Strahlen besser hindurchläfst, als die directen oder durch andere Medien hindurchgegangenen; während das rauhe Steinsalz früheren Beobachtungen entsprechend) jeder Art von Wärme einen gleichen Durchgang gestattet.

Zur Controle stellte ich noch eine zweite Versuchsreihe an, bei der das berufste Steinsalz als erster Schirm diente, die andern diathermanen Platten aber an seine Stelle als zweite Schirme traten, um die Sonnenstrahlen vor und nach ihrem Durchgange durch jenes zu prüfen. Es wurden hierbei nur diejenigen ausgewählt, welche dem Vorigen nach, überhaupt Unterschiede erwarten liefsen, die rothen Gläser und der Glimmer. Von Letzterem wurden, der Reihe nach, eine, zwei und drei Platten hinter einander angewandt. Die Beobachtung ergab:

| Sonnenstrahlen | Diathermane Körper: | Gläser | | Glimmer | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | hell-roth. | dunkel-roth. | eine Platte. | zwei Platten. | drei Platten. |
| vor dem Durchgange | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten. | 100 : 51 | 34 | 58 | 50 | 26 |
| nach dem Durchgange durch das berufste Steinsalz. | | 100 : 57 | 44 | 59 | 59 | 43 |

Diese im ersten und zweiten Falle hindurchgestrahlten Wärmemengen verhalten sich zu einander, wie folgt:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| vor dem Durchgange | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die diathermanen Körper durchstrahlen. | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| nach dem Durchgange durch das berufste Steinsalz. | | 112 | 129 | 102 | 118 | 165 |

Sonach ergiebt sich, 1) dafs die durch berufstes Steinsalz hindurchgegangenen Wärmestrahlen (in vollständigem Einklange mit dem Vorhergehenden) verhältnifsmäfsig reichlicher durch rothes Glas und braunen Glimmer hindurchdringen als die directen Sonnenstrahlen; 2) dafs diese Unterschiede desto gröfser sind, je intensiver das rothe Glas gefärbt, und je dicker die prüfende Glimmerplatte ist.

Andererseits prägen sich die bei *ungleich stark berufsten Steinsalzplatten* an den nämlichen diathermanen Körpern auftretenden Unterschiede desto deutlicher aus, je dicker die aufgetragene Rufsschicht ist, wie die folgenden Beobachtungen und ihre Reductionen darthun.

| Sonnenstrahlen nach dem Durchgange durch: | Diathermane Körper: | dunkelrothes Glas. | drei Platten braunen Glimmers. |
|---|---|---|---|
| klares | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten. | 100 : 34 | 26,0 |
| dünn berufstes | | 100 : 44 | 30,5 |
| dick berufstes Steinsalz. | | 100 : 44 | 43,0 |
| klares | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die diathermanen Körper durchstrahlen. | 100 | 100 |
| dünn berufstes | | 129 | 117 |
| dick berufstes Steinsalz. | | 129 | 165 |

*Der Inhalt der Melloni'schen Ansicht, dafs berufstes Steinsalz eine auswählende Absorption auf Wärmestrahlen verschiedener Brechbarkeit ausübe, ist somit als eine Thatsache nachgewiesen worden.*

War auch die zweite Behauptung Melloni's richtig, wonach diese Wirkung ausschliefslich bei jenem Körper in Betracht komme, und eine Diffusion, wie Forbes sie vorausgesetzt, nicht vorhanden sey [1])?

Melloni hat diefs aus einer Beobachtung gefolgert, welche darin besteht, dafs jeder von ihm untersuchte matte

1) Pogg. Annal. LIII, 52.

Schirm (wie schon oben S. 222 bemerkt) beim Annähern an die Thermosäule eine erhöhte Wärmewirkung zur Folge hatte, während polirte Platten bei jedem Abstande die Ablenkung am Thermomultiplicator ungeändert liefsen, das Letztere aber beim Hin- und Herrücken des berufsten Steinsalzes der Fall war [1]). Doch sagt er selbst von einem Versuche, dafs die Einwirkung auf das Thermoskop beim Nähern und Entfernen der in Rede stehenden Substanz »*beinahe* constant« geblieben sey [2]) und ist damit nicht jeder Zweifel an der Möglichkeit einer Diffusion gehoben.

Nachdem ich seine Versuche wiederholt und bestätigt, aber eine gewisse Schwierigkeit darin gefunden hatte, bei diesem Hin- und Herrücken immer identische Stellen der nicht völlig gleichmäfsig berufsten Platten von den Strahlen bescheinen zu lassen, schien es mir nicht ohne Interesse, auch die von mir aufgefundenen Methoden zur Ermittelung des Vorhandenseyns einer *Diffusion* auf den vorliegenden Fall anzuwenden.

Zugleich wünschte ich auf eine sichere Weise die Frage zu beantworten, ob die behauptete Diffusion, wenn sie beim berufsten Steinsalz überhaupt auftritt, dem Steinsalz (von dem ich voraussetze, dafs es vor dem Berufsen von derselben frei war) oder dem Rufs zuzuschreiben wäre, dem ersteren etwa in Folge des Beschlagens beim Hineinhalten in die rufsende Flamme, dem letzteren wegen seiner rauhen Oberfläche. Zu dem Ende stellte ich dem berufsten Steinsalz berufstes Glas an die Seite, bei dem an ein Angreifen und Mattwerden der Glasmasse selbst durch den Procefs des Berufsens nicht zu denken war.

Die beiden einfachsten der in dem vorigen Abschnitt besprochenen, hier anzuwendenden Verfahren lassen sich folgendermafsen zusammenfassen:

1) Hat man zwei Systeme gleichfarbiger Wärmestrahlen sich verschafft, deren eines aus lauter parallelen, das andere aus diffusen besteht, wie solche einerseits in den

1) Pogg. Annal. LIII, 52 — Thermochrôse, 283.
2) Pogg. Annal. LIII, 54.

directen Sonnenstrahlen, andererseits beim Durchgange derselben durch rauhes farbloses Steinsalz oder durch Reflexion an rauhem Platin erhalten werden, und schaltet den zu untersuchenden Körper in den Gang dieser Strahlengruppen ein, welche zuvor durch directe Einwirkung auf die Thermosäule, der Reihe nach, dieselbe Ablenkung am Multiplicator hervorgebracht hatten, so wird diese Ablenkung entweder beide Male um gleich viel vermindert werden, oder bei den diffusen Strahlen in Folge eines reichlicheren Durchgangs derselben höher bleiben, als bei den parallelen. In diesem Falle ist die betreffende eingeschaltete Platte eine diffundirende.

2) Läfst man die Sonnenstrahlen durch die zu prüfende Substanz als ersten Schirm hindurchgehen und untersucht ihre Durchstrahlung durch eine, als zweiten Schirm aufgestellte, matte farblose Steinsalzplatte; bewirkt alsdann durch die directen Sonnenstrahlen dieselbe ursprüngliche Ablenkung am Thermomultiplicator und schaltet wieder das Steinsalz ein, so gehen die Strahlen entweder in beiden Fällen in gleichem Verhältnifs durch dasselbe hindurch oder bei Anwendung der fraglichen Substanz reichlicher als bei den directen Sonnenstrahlen. Das Letztere wäre entscheidend für eine an jener stattgehabte Diffusion. An Stelle des matten Steinsalzes kann auch eine andere rauhe Platte, z. B. mattes Glas, angewandt werden, wenn die zu vergleichenden Strahlengruppen der Art sind, dafs sie durch eine nicht rauhe Platte jener Substanz in gleichem Verhältnifs hindurchgehen würden.

Bei Befolgung der ersten Methode haben die Versuche zu nächstehenden Resultaten geführt:

| Schirme. | Beschaffenheit. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Schirme zur Thermosäule gelangten, bei den directen Sonnenstrahlen. | aus zweiseitig rauhem Steinsalz austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|
| Steinsalz. | klar, vor dem Berufsen. | 100 : 85 | 85,0 |
| | dasselbe, berufst. | 100 : 11 | 11,5 |
| | unberufst, auf beiden Seiten matt. | 100 : 33 | 59,5 |
| Glas. | klar, vor dem Berufsen. | 100 : 78 | 78,0 |
| | dünn berufst. | 100 : 9,5 | 9,5 |
| | dick berufst. | 100 : 4,8 | 4,8 |
| Glimmer. | braun. | 100 : 53 | 53 |

Aus dem Vergleich der neben einander stehenden Zahlen geht unverkennbar hervor, dafs die berufsten Platten Unterschiede, wie die matten sie darbieten, nicht auftreten lassen. Die unbedeutende, im Durchgange der parallelen und diffusen Wärmestrahlen durch das berufste Steinsalz wahrgenommene, Verschiedenheit verschwindet fast gegen die beim unberufsten, auf beiden Seiten matten, also zweifellos diffundirenden Steinsalz beobachtete. Bei dem mit Rufs bekleideten Glase ist keine Spur einer solchen bemerkbar. Es verhält sich wie der, ihm an Farbe gleichende, nicht aufgeblätterte und sicher nicht diffundirende Glimmer.

Aehnliches wie hier nach der diffusen Durchstrahlung durch das erste rauhe Steinsalz wurde nach diffuser Reflexion von rauhem Platin beobachtet, als die so zerstreuten Strahlen mit den von hoch polirtem Silber parallel zurückgeworfenen in ihrem Durchgange durch berufste Platten (denen wieder zur Controle die nämlichen vor dem Berufsen und eine matte, so wie 8 Platten braunen Glimmers beigegeben waren) verglichen wurden.

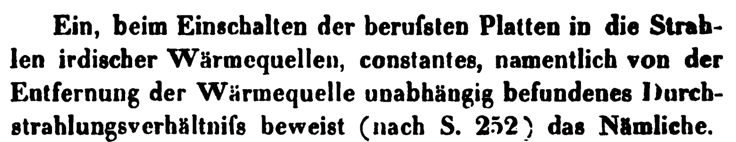
*Als*, dem zweiten Verfahren gemäfs, diese mit Rufs be-

deckten Körper die Stelle der ersten, und rauhe Steinsalze und matte Gläser die der zweiten Schirme einnahmen, ergaben sich die in der folgenden Tabelle enthaltenen Werthe.

Um ganz sicher zu seyn, dafs die Qualität der Wärmestrahlen keinen Einflufs ausüben könne, stellte ich die aus den berufsten Platten austretenden Strahlen nicht mit den directen zusammen, sondern mit den durch eine Anzahl brauner Glimmerplatten gegangenen und in Folge dessen mit jenen eine, wenn nicht absolut gleiche, doch gegen Steinsalz und Glas analog sich verhaltende, Wärmefarbe besitzenden Sonnenstrahlen.

| Schirme. | Beschaffenheit. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Schirme zur Thermosäule gelangten, bei den aus | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | braunen Glimmerplatten | berufstem Steinsalz | zweiseitig rauhem Steinsalz | dünn berufstem Glase | dick berufstem Glase |
| | | austretenden Sonnenstrahlen. | | | | |
| Steinsalz. | klar. | 100 : 82 | 82 | 82 | 82 | 82 |
| | rauh. | 100 : 42 | 42 | 63 | 42 | 42 |
| | rauher. | 100 : 25 | 25 | 42 | 25 | 25 |
| Glas. | klar. | 100 : 57 | 57 | 57 | 57 | 56,5 |
| | auf einer Seite matt. | 100 : 36 | 36 | 48 | 36 | 36,0 |
| | auf beiden Seiten matt. | 100 : 24 | 25 | 37 | 25 | 24,0 |

Diese Prüfung bestätigt *die Abwesenheit der Diffusion bei dem berufsten Steinsalz und berufsten Glase.* Denn sie läfst keine Erhöhung des Durchgangs der von ihnen hindurchgelassenen Strahlen durch die matten Schirme, im Vergleich mit den durch braunen Glimmer hindurchgegangenen und jedenfalls parallelen Sonnenstrahlen, wahrnehmen, während eine solche doch so deutlich bei denjenigen hervortritt, welche das (als Gegenversuch den ersten Schirmen hinzugefügte) rauhe Steinsalz durchdrungen haben und dadurch sicher diffus geworden sind.





Ein, beim Einschalten der berufsten Platten in die Strahlen irdischer Wärmequellen, constantes, namentlich von der Entfernung der Wärmequelle unabhängig befundenes Durchstrahlungsverhältnifs beweist (nach S. 252) das Nämliche.

*Auch die zweite Behauptung Melloni's, welche bei dem regelrecht berufsten Steinsalz die Diffusion in Abrede stellt, ist also thatsächlich erhärtet.*

Die, abweichend von dem Mitgetheilten, von Forbes beobachtete Thatsache, dafs unter Umständen Wärmestrahlen, welche durch rauhes Steinsalz oder andere diffundirende Platten gegangen, besser als die directen, ein berufstes Steinsalz durchdringen, und umgekehrt [1]), ist mir nicht unbekannt geblieben, vielmehr durch mannigfache Erfahrungen, welche mich zuerst auf dieselben Schlüsse, wie Forbes, hinwiesen, bestätigt worden.

Ihre wahre Deutung aber ist nicht die bisherige. Sie kann von einer Diffusion des berufsten Steinsalzes herrühren, deren Ursache aber nicht die rauhe Oberfläche der Rufsschicht, sondern die Beschaffenheit des Steinsalzes ist, welches, wenn es nicht vorher bereits diffundirend wirkte, durch den Procefs des Berufsens so angelaufen und trübe geworden ist, dafs es die austretenden Strahlen zerstreut. Jene Erscheinung kann aber möglicher Weise auf einem ganz anderen, von der Diffusion völlig unabhängigen, Vorgange beruhen, welcher in dem IV. Abschnitt dieser Untersuchung näher besprochen werden soll.

Soviel steht nach den angeführten Ermittelungen fest, dafs *das normale berufste Steinsalz in dem an sich klaren, farblosen und polirten Steinsalz eine für verschiedene Wärmestrahlen indifferente Unterlage, in dem Rufs einen auswählend absorbirenden, aber nicht diffundirenden Ueberzug besitzt, ganz so wie Melloni es von Anfang an aufgefafst hat.*

1) Pogg. Annal. LI, 90, 91, 105.

Dieses Ergebnifs gab mir zu einer sich nahe anschliefsenden Untersuchung Anlafs, welche zugleich der vorliegenden als Controle dienen konnte.

Vor einer Reihe von Jahren [1]) habe ich nachgewiesen, dafs Metalle in dünnen Schichten diatherman [2]) seyen und gewisse unter ihnen, wie Gold und Silber, eine auswählende Absorption [3]) auf die sie durchstrahlende Wärme ausüben. Die Metallschichten bildeten Ueberzüge von Gläsern, wie vorher die Rufsschichten die der Steinsalze und Glasplatten. Es war von Interesse, ob hier der Charakter der Durchstrahlung der nämliche gewesen, d. h. ob die Wärmestrahlen auch bei ihrem Durchgange durch die Metalle, wie bei dem durch Rufs, ihre parallele Richtung beibehalten.

Die Prüfung vermittelst des matten Steinsalzes war zur Entscheidung dieser Frage geeignet.

Nachdem die directen so wie die von den Metallen: Gold, Silber, Platin hindurchgelassenen Sonnenstrahlen stets eine constante Ablenkung am Thermomultiplicator hervorgebracht hatten, wurden nach einander ein klares, ein einseitig und ein zweiseitig mattes Steinsalz eingeschaltet. Zum Vergleich wurde den metallisch überzogenen Gläsern noch ein, gelbe Strahlen hindurchlassendes, blaue reflectirendes Glas, welches auch früher [4]) mit jenen zusammengestellt worden war, ferner zur Controle, ein diffundirender Schirm, und zwar ein, mit gleicher gelber Farbe durchsichtiges, mattes Steinsalz hinzugefügt.

Es kam darauf an, ob die aus den Metallen austretenden Wärmestrahlen in demselben Verhältnifs wie die directen, oder, entsprechend den aus dem diffundirenden Schirm austretenden, besser als diese durch die prüfenden Platten hindurchgehen würden. Die Beobachtung ergab:

1) Pogg. Annal. CI, 161.
2) Ebend. 163.
3) Ebend. 173.
4) Ebend. 177.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den directen | aus Gold | Silber | Platin | gelb-blauem Glase | mattem Steinsalze austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| klar. | 100 : 74 | 74 | 74 | 74 | 74,0 | 74 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 50 | 47 | 50 | 49 | 50,0 | 64 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 31 | 31 | 31 | 31 | 31,5 | 47 |

Aus diesen Zahlen erhellt zuversichtlich, dafs die Wärmestrahlen vor und nach ihrem Durchgange durch die fraglichen Körper in gleichem Grade die Fähigkeit besitzen, die matten Steinsalze zu durchdringen, und sich hierin von denen unterscheiden, welche das diffundirende Steinsalz durchdrungen, und dadurch die Eigenschaft, die zweiten reichlicher zu durchstrahlen, erlangt haben.

*Weder die Metalle noch das blau-gelbe Glas üben demnach eine diffundirende Wirkung auf die, durch sie hindurchgehenden Wärmestrahlen aus.*

Es liegt in allem Dem zugleich ein neuer Beweis dafür, dafs die Rauheit der Oberfläche allein nicht bestimmend für eine diffuse Durchstrahlung ist.

## IV. Weitere Untersuchungen über die Diffusion der Wärmestrahlen.

### 1.

Die in dem Vorstehenden beschriebenen Verfahren geben die Mittel an die Hand, wie den *Diffusionsgrad* verschiedener diathermaner Körper, so auch den *einer und derselben rauhen oder trüben Platte bei verschiedenen Einfallswinkeln* der gegen sie gerichteten Strahlen zu ermitteln.

Zum Vergleich wählte ich die dem Versuch zu Gebote stehenden Extreme, nämlich den Fall, in welchem die Son-

nenstrahlen einen Winkel von 90° und den, in welchem sie 20° mit den betreffenden Schirmen bildeten.

Als solche dienten bei der ersten Versuchsreihe ein klares *Steinsalz* mit glatter Oberfläche, ein auf einer Seite fein mattgeschliffenes, ein auf beiden Seiten mattes und ein auf beiden Seiten grob geschliffenes Stück. Als prüfende zweite Platten wurden wieder das klare, das einseitig und das zweiseitig matte Steinsalz angewandt. Die Beobachtung ergab:

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den aus folgenden *Steinsalzen*: directen | klarem unter 90° | klarem unter 20° | einseitig fein mattem unter 90° | einseitig fein mattem unter 20° | zweiseitig mattem unter 90° | zweiseitig mattem unter 20° | zweiseitig rauhem unter 90° | zweiseitig rauhem unter 20° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | austretenden Sonnenstrahlen. | | | | | | | |
| klar. | 100:73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 |
| auf einer Seite matt. | 100:50 | 49 | 48 | 53 | 57 | 60 | 68 | 58 | 63 |
| auf beiden Seiten matt. | 100:27 | 28 | 28 | 30 | 39 | 38 | 52 | 39 | 44 |

Da die Reichlichkeit der Durchstrahlung durch die zweiten Schirme bezeichnend ist für die an den ersten stattgehabte Diffusion, die dem Neigungswinkel 20° angehörigen Zahlen bei den matten Steinsalzen aber ohne Ausnahme gröfser sind als die der senkrechten Incidenz entprechenden, so ist ersichtlich, wie *die auf die Strahlen ausgeübte Diffusion in dem Maafse zunimmt, als der Winkel, welchen sie mit dem matten Schirm einschliefsen, kleiner wird.*

Wie diese Zunahme bei den verschieden rauhen Schirmen sich gestaltet, geht noch deutlicher hervor, wenn, wie in der folgenden Tabelle, die für 90° beobachtete Durchstrahlung jedesmal gleich 100 gesetzt wird.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, bei den aus folgenden *Steinsalzen*: klarem unter 90° \| 20° | einseitig fein mattem unter 90° \| 20° | zweiseitig mattem unter 90° \| 20° | zweiseitig rauhem unter 90° \| 20° austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|---|
| klar. | 100 : 100 | 100 : 100 | 100 : 100 | 100 : 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 100 | 100 : 108 | 100 : 113 | 100 : 109 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 100 | 100 : 130 | 100 : 137 | 100 : 113 |

*Die gedachte, mit der Neigung zusammenhängende Steigerung der Diffusion wird hiernach durch eine gröfsere Rauhigkeit der Oberfläche anfangs begünstigt, dann aber, nachdem ein gewisser Grad erreicht ist, wieder beeinträchtigt.*

Noch *entschiedener* tritt diefs bei einer zweiten Beobachtungsreihe hervor, welche mit klarem, fein mattem und auf einer, wie auf beiden Seiten gröber matt geschliffenem *Glase*, unter gleichen Neigungswinkeln wie vorher, angestellt wurde.

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den aus folgenden *Gläsern*: klarem unter 90° | 20° | einseitig mattem unter 90° | 20° | einseitig rauhem unter 90° | 20° | zweiseitig rauhem unter 90° | 20° austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| klar. | 100:75 | 75 | 75 | 75 | 75,0 | 76,0 | 76 | 75 |
| auf einer Seite matt. | 100:50 | 50 | 54 | 60 | 58,5 | 69,5 | 65 | 65 |
| auf beiden Seiten matt. | 100:28 | 28 | 32 | 38 | 37,0 | 48,0 | 47 | 47 |

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen: | | | |
|---|---|---|---|---|
| klar. | 100 : 100 | 100 : 100 | 100 : 100 | 100 : 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 100 | 100 : 111 | 100 : 119 | 100 : 100 |
| *auf beiden Seiten matt.* | 100 : 100 | 100 : 119 | 100 : 130 | 100 : 100 |

Auch hier nimmt die diffundirende Wirkung des matten und des rauheren Glases den flacher auffallenden Strahlen gegenüber zu, und zwar bei diesem in höherem Maafse als bei jenem; aber bei dem, am Ende der Reihe stehenden, rauhesten Glase ist dieser Unterschied wieder vollständig verschwunden und ebenso wenig vorhanden wie bei der, den Anfang bildenden, polirten Platte.

Unter den *Milchgläsern* wurden zu ersten Schirmen die ausgewählt, welche von den bisher untersuchten die geringste, eine mittlere und die gröfste Diffusion zu erkennen gegeben hatten: die Milchgläser II, I und V. Die bei ihnen erhaltenen Werthe waren folgende:

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den aus folgenden *Milchgläsern*: | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | klarem Glase unter | | durchsichtigem No. II unter | | durchsichtigem bis durchscheinendem No. I unter | | durchscheinendem No. V unter | |
| | 90° | 20° | 90° | 20° | 90° | 20° | 90° | 20° |
| | austretenden Sonnenstrahlen. | | | | | | | |
| klar. | 100:74 | 74 | 73,0 | 73,0 | 76,0 | 76,0 | 73,5 | 73,5 |
| auf einer Seite matt. | 100:48 | 48 | 52,5 | 56,5 | 62,5 | 63,5 | 60,5 | 60,5 |
| auf beiden Seiten matt. | 100:30 | 30 | 34,5 | 37,5 | 38,0 | 39,5 | 41,0 | 41,0 |

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen: | | | |
|---|---|---|---|---|
| klar. | 100 : 100 | 100 : 100 | 100 : 100 | 100 : 100 |
| auf einer Seite matt. | 100 : 100 | 100 : 108 | 100 : 102 | 100 : 100 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 100 | 100 : 109 | 100 : 101 | 100 : 100 |

*So hat in gleicher Weise bei den durch innere Trübung wie bei den durch Rauheit der Oberfläche mehr und mehr diffundirenden Medien der Wechsel der Neigung anfangs einen mit der Diffusion wachsenden, dann wieder verschwindenden Einflufs.*

Bei *einer, anstatt mittelst* Durchstrahlung, durch Reflexion

Oberfläche. Die Tabelle stellt in anschaulicher Weise sowohl die Zunahme wie die allmälige Abnahme jenes Verhaltens bei vermehrter Rauhigkeit der Oberfläche dar.

Ein Einflufs der Neigung einer und derselben Steinsalzplatte gegen die Sonnenstrahlen auf die gedachten Erscheinungen war nicht wahrzunehmen.

Bei einer mit *Gläsern* von ungleicher Oberflächenbeschaffenheit angestellten Versuchsreihe ergaben sich nachstehende Beobachtungen:

| Diathermane Körper | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, bei den | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | directen | aus folgenden *Gläsern*: klarem farblosem | fein mattem gelblichem | mattem orangefarbenem | einseitig rauhem farblosem | zweiseitig rauhem farblosem |
| | | austretenden Sonnenstrahlen. | | | | |
| dunkelrothes Glas. | 100 : 45 | 45 | 52 | 59,0 | 45 | 45,0 |
| hellrothes Glas. | 100 : 60 | 60 | 67 | 70,0 | 60 | 60,5 |
| gelbes Glas. | 100 : 58 | 58 | 69 | 71,5 | 58 | 58,0 |

Auch hier tritt in einzelnen Fällen eine *relative Verbesserung des Durchgangs durch die rothen und gelben Gläser* beim Vergleich mit den directen Sonnenstrahlen unverkennbar hervor. Aber *dieser, bei ganz gleichartiger innerer Beschaffenheit der ersten Gläser, nur durch die matte Oberfläche hervorgerufene Einflufs verschwindet wieder bei den rauheren Platten.*

Auch bei diesen Schirmen erlitten die angeführten Werthe bei einem Wechsel des Einfallswinkels der Strahlen keine nachweisbare Aenderung.

Die Durchstrahlung durch *Milchgläser* welche bei gleicher glatter Oberfläche verschiedene Grade innerer Trübung darboten, führte zu folgenden Zahlen:

| Diathermane Körper. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, bei den directen | aus folgenden *Milchgläsern*: durchsichtigem orangefarbenem No. II | durchsichtigem orangefarbenem No. III | durchscheinendem rothem No. IV | durchscheinendem rothem No. I | noch weniger durchscheinendem gelbem No. V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | austretenden Sonnenstrahlen. | | | | |
| dunkelrothes Glas. | 100 : 44 | 65,0 | 65,0 | 70,5 | 70,5 | 65 |
| hellrothes Glas. | 100 : 57 | 79,0 | 79,0 | 79,0 | 79,0 | 79 |
| gelbes Glas. | 100 : 55 | 78,5 | 78,5 | 78,5 | 78,5 | 78 |

*Der Unterschied* in dem Verhalten der Wärmestrahlen vor und nach ihrem Durchgange durch die ersten Schirme ist bei diesen (ebenfalls nach ihrem Diffusionsvermögen geordneten) trüben Medien *noch bedeutender* als bei den matten. Es fehlt hier zwar, um die Wirkung der mechanischen Trübung auf die »Färbung« direct übersehen zu können, wieder an einer Substanz, welche, ohne trübe zu seyn, die Absorption der Masse des Milchglases besäfse. Doch ist aus dem ziemlich indifferenten Verhalten einer ähnlichen Substanz, wie des klaren Glases, und Allem, was bisher über die trüben Medien bekannt geworden, zu schliefsen, dafs jene, als auswählende Absorption sich geltend machende Erscheinung hier mehr dem Einflufs der mechanischen Trübung als dem einer ursprünglichen Absorption der Masse zuzuschreiben sey.

Diese Versuche bestätigen übrigens, was oben (S. 203) vorausgesetzt wurde, dafs nämlich die auswählende Absorption der Milchgläser I, II, III und IV im Wesentlichen als gleichartig anzusehen sey. Denn das hellrothe und das gelbe Glas unterscheiden sie gar nicht von einander und nur das dunkelrothe weist einen geringen Unterschied in





der Durchstrahlung der von II und III und der von IV und I austretenden Wärmestrahlen nach.

Eine wechselnde Neigung der Platten gegen die Strahlen liefs keine merkliche Verschiedenheit in der Beschaffenheit der durch sie hindurchgegangenen Wärme erkennen.

Diese Ergebnisse fordern zu einem Rückblick auf die, im zweiten Abschnitt unserer Untersuchung, welcher vom Steinsalz mit matter Oberfläche und andern diffundirenden Substanzen handelt, hingestellten Sätze auf. Es ist damals ausdrücklich (namentlich Seite 206) hervorgehoben worden, dafs die Forbes'sche Erklärungsweise, welche von einer, den rauhen Platten eigenthümlichen, auswählenden Absorption ausgeht, bei den dort betrachteten Durchstrahlungserscheinungen an diesen Medien nicht zutreffend sey. Einen besonderen Stützpunkt hatte diese Behauptung darin gefunden, dafs an dem damals untersuchten rauhen Steinsalz überhaupt keine auswählende Absorption vorhanden gewesen.

Es fragt sich, ob jetzt, da eine solche in besonderen Fällen in der That aufgefunden, diefs einen Grund zu einer anderen, als der damaligen Auffassungsweise abgeben oder die Allgemeinheit der in jenem Abschnitt aufgestellten Diffusions-Gesetze beeinträchtigen könne.

Vor Allem mufs darauf aufmerksam gemacht werden, *dafs es sich bei den in Rede stehenden rauhen und trüben Medien um zwei ganz verschiedene, völlig unabhängige und von einander zu trennende, Erscheinungen handelt: die jedesmal vorhandene Diffusion und die bisweilen auftretende auswählende Absorption.*

Nun ist in dem ganzen *Abschnitt II* nicht ein auf die Diffusion bezüglicher Versuch enthalten, welcher nicht mit Platten von solcher Rauheit darstellbar wäre, an denen keine Spur einer auswählenden Absorption wahrnehmbar ist, und Alles, was aus jenen Beobachtungen abgeleitet worden, behält demnach seine volle Gültigkeit.

Somit hat es nur ein secundäres und für die vorliegenden Experimente specielles Interesse zu wissen, ob und wie

weit die zufällig angewandten diffundirenden Platten nebenbei eine auswählende Absorption gezeigt haben. Die Ermittelung hat darüber in Bezug auf die wiederholentlich angewandten Steinsalze und Gläser Folgendes ergeben. Das klare und das zweiseitig rauhe Steinsalz erwiesen sich (nach S. 188, 189; 206, 207, 255, 256 und 269) von einer derartigen Wirkung frei; das einseitig matte, mit gelblicher Farbe durchsichtige aber übte (nach S. 269) eine ungleiche (z. B. die rothes und gelbes Glas durchdringende Wärme weniger berührende) Absorption auf die verschiedenen Strahlen aus. Die matten (in der Tabelle S. 270 als ein- und zweiseitig rauh bezeichneten) Gläser lassen wieder nichts der Art erkennen, indem die aus ihnen austretenden Wärmestrahlen gleiche Eigenschaften mit den aus dem klaren Glase hervorgehenden besitzen. Die Milchgläser kommen hier nicht in Betracht, da der Antheil ihrer unvermeidlichen auswählenden Absorption bei der Reduction der Beobachtungen in der S. 203 besprochenen Weise eliminirt worden ist.

Dazu kommt, dafs die fragliche Beschaffenheit eines Schirmes überhaupt in allen den Fällen gleichgültig ist, in denen Strahlen gleicher Qualität auf ihn einfallen. Bei dem Vergleich verschiendenartiger Wärmequellen kann die »Farbigkeit« z. B. des einseitig matten Steinsalzes wohl eine Modification einzelner absoluter Zahlenwerthe der von ihm hindurchgelassenen Wärmemengen bedingen, die Erscheinungen im Ganzen aber weder herbeiführen noch umstofsen. Wie verschwindend dieser Einflufs neben den Wirkungen der Diffusion gewesen seyn mufs, geht unter Anderem daraus hervor, dafs (wie an gedachter Stelle ausführlich dargestellt worden) die eigenthümlichen Durchstrahlungsverhältnisse matter und trüber Substanzen genau den Diffusionsgraden sich anschliefsen, die auswählende Absorption aber diesen nicht entspricht, z. B. jene Erscheinungen weniger charakteristisch bei dem einseitig matten als bei dem zweiseitig rauhen Steinsalz sich geltend machen, bei welchem

die auswählende Absorption vollständig wieder verschwunden ist.

In dem *Abschnitt III*, welcher sich mit dem berufsten Steinsalz beschäftigt, kann die Farbigkeit der matten Steinsalze eine gewisse Bedeutsamkeit gewinnen, weil hier erst durch sie Unterschiede hervorgerufen werden können, welche sonst ganz fehlen würden.

Die durch farbiges Steinsalz hindurchgegangenen und darum von den directen sich unterscheidenden Sonnenstrahlen werden von den berufsten (eine auswählende Absorption ausübenden) Platten in anderem Verhältnifs als die directen hindurchgelassen. Ebenso werden Strahlen, welche aus berufsten Platten austreten, farbiges Steinsalz in anderem Maafse durchdringen als die directen. In welcher Weise, belegen die aus den Versuchen hervorgegangenen Zahlen:

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der berufsten Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den directen Sonnenstrahlen. | Verhältnifs ... bei den aus zweiseitig mattem orangefarbenem Steinsalz austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|
| dünn berufst. | 100 : 24,5 | 37,0 |
| dick berufst. | 100 : 10,5 | 17,5 |

Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der farbigen Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den

| Steinsalze. | directen | aus dünn berufstem Steinsalz | aus dick berufstem Steinsalz | aus klarem Glase | aus dünn berufstem Glase | aus dick berufstem Glase |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | austretenden Sonnenstrahlen. | | | | |
| einseitig matt, gelb. | 100 : 45,0 | 53 | 63,5 | 43,5 | 52 | 57,5 |
| zweiseitig matt, orange. | 100 : 28,5 | 36 | 42,5 | 29,0 | 39 | 45,5 |

Da hiernach die vorliegende auswählende Absorption in dem Sinne wirkt, den Durchgang durch irgend einen dieser Schirme zu *erhöhen*, sobald die Strahlen bereits durch einen anderen derselben gegangen sind, gerade so wie diefs (nach S. 258, 259) auch bei diffundirenden Platten der Fall ist, so lag es nahe, diese beiden Erscheinungen mit einander zu verwechseln und bei den berufsten Platten eine Diffusion vorauszusetzen, wo (nach S. 260—262) keine vorhanden war.

Die berufsten Substanzen mit rauher Oberfläche haben hier keine andere Bedeutung als braune, glatte Glimmerplatten und das matte, gelbe Steinsalz spielt hier, den in allen Gruppen parallelen Sonnenstrahlen gegenüber, keine andere Rolle als ein gelbes Glas mit polirter Oberfläche.

3.

Wie stellen sich nun zu den gewonnenen Resultaten frühere Beobachtungen und Behauptungen?

Aus dem Abschnitt I der vorliegenden Abhandlung ergiebt sich, dafs reines *Steinsalz* alle Arten von Wärmestrahlen in gleichem Maafse hindurchläfst. Es war danach mehr als wahrscheinlich, dafs gewöhnliches *Kochsalz* sich ähnlich verhalten werde. Indefs erfahren wir darüber von Melloni [1]) nur, dafs dasselbe fast alle Wärmestrahlen auffange, eine Erscheinung, welche Derselbe dem eigenthümlichen Gefüge einer derartigen Platte zuschreibt.

Durch die Güte des Herrn Prof. Heintz war mir *chemisch reines geschmolzenes Kochsalz* zu Theil geworden, welches ein von Rissen durchzogenes Aggregat theils klarer, theils weifs durchscheinender Stücke bildet. Wurde diefs, der Reihe nach, in den Gang der Strahlen der Sonne, einer Argand'schen Lampe und des dunkeln erhitzten Metallcylinders eingeschaltet, so zeigten sich, bei gleicher auffallender Wärme, folgende Durchstrahlungen:

1) Pogg. Annal. XXXV, 298.

| Diathermaner Körper. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten des Kochsalzes zur Thermosäule gelangten, bei: | | |
|---|---|---|---|
| | der Sonne. | der Argand'schen Lampe. | dem heifsen Metallcylinder. |
| geschmolzenes Kochsalz. | 100 : 11 | 25 | 34 |

*Diese bedeutenden Unterschiede rühren gleichwohl nicht*

| Sonnenstrahlen | Diathermane Körper: | brauner Glimmer. (3 Platten.) | dunkelrothes Glas. | hellrothesGlas. |
|---|---|---|---|---|
| vor dem Durchgange | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten. | 100 : 37 | 42 | 57 |
| nach dem Durchgange durch das geschmolzene Kochsalz. | | 100 : 37 | 42 | 57 |

Ein über die Beobachtungsfehler hinaus gehender Unterschied ist in diesen Zahlenreihen nicht wahrzunehmen.

Deutete schon der Charakter der mitgetheilten Durchstrahlungen auf eine am geschmolzenen Kochsalz stattfindende *Diffusion* hin, so wurde eine solche *durch die specielle Untersuchung zur Gewifsheit* erhoben.

Denn erstens dringen die durch mattes Steinsalz gegangenen Sonnenstrahlen reichlicher als die directen durch die fragliche Masse hindurch:

| Diathermaner Körper. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten des Kochsalzes zur Thermosäule gelangten, bei den | |
|---|---|---|
| | directen | aus einseitig mattem Steinsalz austretenden |
| | Sonnenstrahlen. | |
| geschmolzenes Kochsalz. | 100 : 15 | 28 |

Zweitens verbessert die Durchstrahlung durch das Kochsalz die Durchgangsfähigkeit der Strahlen für mattes Steinsalz und zwar für ein zweiseitig mattes in höherem Maafse als für ein einseitig mattes:

*von einer auswählenden Absorption des Kochsalzes auf die verschiedenen Strahlen her.*

Denn, werden die letzteren nach ihrem Durchgange durch das Kochsalz mittelst diathermaner Körper geprüft, so zeigen sie noch genau dasselbe Verhalten, wie die directen Strahlen vorher; wie aus dem nachstehenden Vergleich der gefundenen Werthe erhellt.

| grünes Glas. | blaues Glas. | gelbes Glas. | farbloses Glas. | schwarzes Glas. | Gyps. | Alaun. | Kalkspath. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 37 | 58 | 76 | 6 | 78 | 69 | 82 |
| 13 | 37 | 58 | 77 | 6 | 80 | 68 | 82 |

| Steinsalze. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den directen Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Steinsalze zur Thermosäule gelangten, bei den aus dem Kochsalz austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, bei den directen Sonnenstrahlen. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche die Steinsalze durchstrahlen, bei den aus dem Kochsalz austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|---|
| auf einer Seite matt. | 100 : 45 | 70 | 100 | 156 |
| auf beiden Seiten matt. | 100 : 25 | 45 | 100 | 180 |

Jedes der beiden, S. 258, 259 aufgestellten Kriterien weist somit die diffundirende Wirkung des geschmolzenen Kochsalzes nach.

Der oben aufgestellte Satz kann also dahin verallgemeinert werden, dafs *überhaupt reines Chlornatrium ein* (*nach den bisherigen Erfahrungen allein stehender*) *für die strahlende Wärme farbloser Körper ist*; *und dafs, wo in dem Durchgange der Wärmestrahlen durch ein solches Verschiedenheiten auftreten, sie nicht der chemischen* Natur *dieser*

*Substanz, sondern nur dem mechanischen Gefüge zuzuschreiben sind, welches sie diffundirend, bisweilen auch auswählend absorbent macht.*

Welche Umstände sind es nun gewesen, die bei meinen eigenen früheren, S. 179 citirten, S. 182 und 185 bestätigten Beobachtungen den ungleichen Durchgang der Wärme durch Steinsalz bedingt und über die wahre Natur desselben getäuscht hatten? Die sämmtlichen, in Zahlen mitgetheilten, Versuchsreihen sind mit dem nämlichen Stück Steinsalz von $4^{mm},4$ Dicke angestellt worden, und wurde diefs daher jetzt einer näheren Prüfung unterzogen.

Zunächst ergab die, durch Gefälligkeit des Hrn. Prof. Heintz vorgenommene chemische Analyse, dafs das betreffende Exemplar, wenn zwar von anderen fremdartigen Stoffen frei, doch mehr als 2 Proc. *schwefelsauren Kalk* enthielt. Der Letztere fand sich überdiefs zum Theil in Form feiner Körnchen durch die Masse vertheilt und erzeugte dadurch eine schwache *Trübung* derselben. Allmälig war auch unter dem Einflufs der Feuchtigkeit eine *matte Oberfläche* entstanden.

Die Vermuthung, das fragliche ältere Stück Steinsalz werde in Folge dessen eine *diffuse Durchstrahlung* zeigen, wurde bei der Untersuchung vollständig bestätigt. Denn, wird dasselbe als erster Schirm den Sonnenstrahlen ausgesetzt und die hinter demselben austretenden Strahlen mit den directen verglichen, so zeigen sie durch matte Steinsalze wie matte Gläser einen entschieden reichlicheren Durchgang als die parallelen Strahlen; wie die folgende Tabelle im Einzelnen nachweist.

| Diathermane Körper. | Beschaffenheit. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, bei den directen Sonnenstrahlen. | aus dem älteren Steinsalz austretenden Sonnenstrahlen. | Verhältniſs der Wärmemengen, welche die diathermanen Körper durchstrahlen, bei den directen Sonnenstrahlen. | aus dem älteren Steinsalz austretenden Sonnenstrahlen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Steinsalz. | klar. | 100 : 81 | 81 | 100 | 100 |
| | auf einer Seite matt. | 100 : 53 | 57 | 100 | 108 |
| | auf beiden Seiten matt. | 100 : 29 | 36 | 100 | 124 |
| Glas. | klar. | 100 : 70 | 70 | 100 | 100 |
| | auf einer Seite matt. | 100 : 45 | 52 | 100 | 116 |
| | auf beiden Seiten matt. | 100 : 35 | 48 | 100 | 137 |

Oder, wird die zu prüfende Platte als zweiter Schirm hinter einem rauhen, thermisch farblosen Steinsalz, oder, der Reihe nach, hinter einem klaren, einseitig und zweiseitig rauhen Glase eingeschaltet, so läſst sie die diffusen Strahlen, dem Grade der Rauheit entsprechend, besser hindurchgehen als die parallelen. Dasselbe gilt von den an rauhen Flächen diffus reflectirten, im Vergleich mit den an polirter Oberfläche parallel zurückgeworfenen Sonnenstrahlen, unter denen die von rauhem Platin und von polirtem Silber reflectirten, als im Uebrigen gleichartig, gewählt wurden.

Die nachfolgende Tabelle enthält die Belege zu dem eben Gesagten.

| Diathermaner Körper. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten des älteren Steinsalzes zur Thermosäule gelangten, bei den | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | aus | | | | von | |
| | directen | zweiseitig rauhem Steinsalz | klarem | einseitig rauhem | zweiseitig rauhem | polirtem Silber | rauhem Platin |
| | | | | Glase | | | |
| | | austretenden | | | | zurückgeworfenen | |
| | Sonnenstrahlen. | | | | | | |
| das ältere Steinsalz. | 100 : 44 | 60 | 45 | 65 | 76 | 44 | 47 |

Auch bei dem, S. 222 und 257, 258 gedachten Melloni'schen Verfahren, die Diffusion zu ermitteln, trat die erwartete Erscheinung ein, indem, bei einer Annäherung jenes, von der Sonne beschienenen Steinsalzes um 44 Centimeter an die Thermosäule, eine Erhöhung der galvanometrischen Ablenkung von 6°,5 auf 26°,5 erfolgte, während bei gleicher Verschiebung einer klaren Glasplatte, die Ablenkung von 51° unverändert blieb.

Die gelbliche Färbung, welche das Steinsalz in Folge der inneren Trübung und äufseren Mattheit der Oberfläche angenommen, machte es nach den obigen Erfahrungen wahrscheinlich, dafs neben der Wirkung des schwefelsauren Kalks auch diese mechanische Beschaffenheit zur Erzeugung einer *auswählenden Absorption* in ihm beigetragen haben möchte. Das nachfolgende Ergebnifs der mit rothen und gelben Gläsern angestellten Prüfung erweist diefs als eine Thatsache.

| Diathermane Körper. | Verhältnifs der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der diathermanen Körper zur Thermosäule gelangten, bei den | |
|---|---|---|
| | directen | aus dem älteren Steinsalz austretenden |
| | Sonnenstrahlen. | |
| dunkelrothes Glas. | 100 : 44,0 | 48,0 |
| hellrothes Glas. | 100 : 59,5 | 65,0 |
| gelbes Glas. | 100 : 56,5 | 59,5 |

Die Zahlen lassen keinen Zweifel darüber, dafs die Wärmestrahlen nach ihrem Durchgange durch das betreffende Steinsalz in anderem Grade die Fähigkeit besitzen, diathermane Körper zu durchdringen, als vorher.

Nach diesen Ermittelungen sind die früheren Beobachtungen, welche theils als anscheinende Widersprüche (S. 179), theils als ungelöste Räthsel (S. 186, 191, 198) stehen geblieben, die nothwendige, leicht zu übersehende Folge jener chemischen und mechanischen Unreinheit des bei den Versuchen zufällig angewandten Steinsalz-Exemplares.

Schwefelsaurer Kalk hat die Eigenschaft, die von den verschiedensten Körpern zurückgeworfenen Wärmestrahlen besser hindurchzulassen als die unreflectirten [1]). Gleiches bewirken eine matte Oberfläche und eine innere Trübung des diathermanen Schirms, allen diffus reflectirten Strahlen gegenüber [2]). So unterstützt sich das Vorhandenseyn Beider, hier eine äufserlich Dem täuschend ähnliche Erscheinung (S. 182, 183) hervorzubringen, was bei den gleichzeitig angestellten Versuchen an chemisch reinen, klaren Steinsalzen die Folge einer inneren Reflexion gewesen, von deren Einflufs bei dem vorliegenden Stück nicht die Rede seyn konnte.

Der Gehalt an schwefelsaurem Kalk war der Grund, weshalb bei Anwendung verschiedener Wärmequellen die Strahlen einer Argand'schen Lampe reichlicher als die einer Quelle von 100° durch die Steinsalzplatte hindurchgingen [3]). Die mechanische Beschaffenheit wiederum bedingte den geringeren Durchgang der parallelen Sonnenstrahlen im Vergleich mit den allseitig von nahen Punkten her eintreffenden Strahlen des heifsen Metallcylinders [4]). Hier aber wirken die chemische und die mechanische Un-

1) *De calore radiante disquisitiones cet. p.* 61—84, 98—100. — Pogg. Annal. LXXI, 12—44, 62—67; CIX, 597, 599, 603.

2) Diese Abhandlung S. 223—229.

3) *De calore radiante disquisitiones cet. p.* 46, 72. — Pogg. Annal. LXX, 360; LXXI, 28, 29.

4) Diese Abhandlung S. 198, 238.





reinheit des Stücks einander entgegen, indem auch die Sonnenwärme an sich schwefelsauren Kalk besser durchdringt als die dunkle Wärme, und daher der verhältnifsmäfsig geringe, bei der Durchstrahlung beider (S. 198) beobachtete Unterschied.

Der Beachtung werth ist auch der Umstand, dafs *Steinsalze, bei der leichten Angreifbarkeit ihrer Substanz, im Laufe der Zeit ihre Eigenschaften, ja selbst von entgegengesetzter Seite her ändern können.* Eine klare, thermisch farblose Platte mit polirten Flächen kann durch blofses Anlaufen und Mattwerden ebensowohl wie ein zweiseitig rauhes, nicht minder farbloses Stück, bei dem die Feuchtigkeit die Rauheit mildert, thermochroisch werden. Die Erfahrung hat diefs mehrfach bestätigt.

Vereinigten sich so in eigenthümlicher und um so belehrenderer Weise schon an diesem einen Stück alle hier in Betracht kommenden Momente: die *besondere chemische Zusammensetzung*, eine *matte Oberfläche*, *innere Trübung*, die *auswählende Absorption*, deren jede für sich ausreicht, eine von dem normalen Verhalten des Steinsalzes abweichende Erscheinung herbeizuführen, so kann es um so weniger Wunder nehmen, wenn die verschiedenen Exemplare verschiedener Beobachter nicht übereinstimmende Resultate geliefert haben.

Weit entfernt, die früher aufgestellten Facta in Zweifel zu ziehen, wird die Gesammtheit dieser Darstellung sie vielmehr bestätigen und erklären. Aber sie wird auch gezeigt haben, dafs nicht alle zu den Schlüssen berechtigten, welche daraus gezogen worden sind, *indem nicht der inneren Natur des Steinsalzes zuzuschreiben war, was, wenn nicht fremden Beimengungen, ihrer mechanischen Beschaffenheit zugehörte, und auch dem Einflufs dieser eine andere Deutung zu geben war, als die bisherige.*

Theoretische Schwierigkeiten stellen sich dem Verständnifs keines der gewonnenen Resultate entgegen, auch nicht des neuen, aus dem Diffusionsgesetz hervorgegangenen, allgemeinen Satzes, wonach Strahlengruppen, die von einer

Anzahl von Punkten nach den verschiedensten Seiten hin ausgehen, matte und trübe Medien reichlicher durchdringen, als parallele oder durch einen Punkt gehende Strahlen; ferner, dafs der Verlust, welchen sie bei dem Durchgange durch ungleich diffundirende Schirme im Vergleich mit dem der parallelen erleiden, in dem Maafse sich vermindert, als die rauhe Oberfläche dieser Schirme eine gröbere wird.

---

Die hauptsächlichsten Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen sich folgendermafsen zusammenstellen:

I.

1) Das chemisch reine klare Steinsalz läfst alle Arten von Wärmestrahlen in gleichem Verhältnifs hindurchdringen, die Verschiedenheit der Strahlen mag davon herrühren, dafs dieselben:

*a*) von ungleichartigen Körpern diffus reflectirt, oder

*b*) von verschiedenen diathermanen Körpern hindurchgelassen, oder

*c*) von ungleichartigen Wärmequellen ausgegangen sind.

2) Bei dieser, gegen alle elementaren Strahlen auf gleiche Weise geübten Absorption bestätigt sich, dafs in dem Sonnenspectrum eines Steinsalzprismas das Wärmemaximum in den dunkeln Raum jenseits des Roth fällt; innerhalb des sichtbaren Theiles die Wärmeverhältnisse bei einem Steinsalz- und einem Flintglasprisma übereinstimmen.

II.

1) Durch rauhes wie durch trübes Steinsalz gehen die Wärmestrahlen der Sonne in geringerem Maafse hindurch als die einer Argand'schen Lampe, diese in der Regel in geringerem Maafse als die Strahlen einer Wärmequelle von 100° C.

Die Vermehrung der Rauheit schwächt die Durchstrahlung jeder Art von Wärme, aber sie beeinträchtigt hierbei am meisten die Sonnenwärme, weniger die der Lampe, am wenigsten die einer dunkeln Wärmequelle.





2) Abgesehen von der auswählenden Absorption der Substanz, übt bei matten Gläsern die rauhe Oberfläche, bei Milchgläsern die innere Trübung entsprechende Einflüsse aus.

3) Diese Erscheinungen sind weder (mit Forbes) auf eine, die qualitativ verschiedenen Wärmestrahlen ungleich betreffende Absorption, noch (mit Melloni) auf eine, mit der Wärmefarbe zusammenhängende ungleiche Zerstreuung in den matten und trüben Medien, wodurch sie von dem Thermoscop mehr oder minder abgelenkt würden, zurückzuführen. — Auch ist die Rauheit der Oberfläche an sich, oder die Richtung der von einem einzigen Punkt ausgehenden Strahlen nicht das Bedingende.

4) Die in Folge der Durchstrahlung durch matte oder trübe Schirme oder der Reflexion von rauhen Flächen diffuse Wärme strahlt desto reichlicher durch diffundirende Schirme, *a*) je diffuser ihre Strahlen, *b*) im Vergleich mit parallelen Strahlen, je diffundirender die Schirme.

5) Ueberhaupt ist das wesentlich Bestimmende bei dem Durchgange durch jene Schirme, ob parallele oder von einer gröfseren oder geringeren Anzahl von Punkten mehr oder minder mannigfach gerichtete Strahlen auf dieselben auffallen.

6) Für eine und dieselbe Wärmequelle nimmt, Dem entsprechend, das betreffende Durchstrahlungsverhältnifs (ungeachtet einer constanten, direct auf die Platten auffallenden Wärmemenge) mit der Entfernung der ersteren ab, und zwar desto schneller, je diffundirender der Schirm.

7) Durch geeignete Anordnung der Versuche ist es möglich, den unter 1) angeführten reichlicheren Durchgang der Wärmestrahlen von 100° im Vergleich mit denen der Lampe verschwinden zu lassen, ja selbst das Umgekehrte: eine reichlichere Durchstrahlung der Lampenwärme herbeizuführen.

III.

1) Bei dem Durchgange der strahlenden Wärme durch mit Rufs bedecktes Steinsalz findet eine (von Melloni *behauptete*) auswählende Absorption ohne Diffusion statt.

Eine, (von Forbes vermuthete) diffundirende Wirkung tritt niemals vermöge der rauhen Oberfläche der Rufsschicht, bisweilen in Folge eines Anlaufens der Steinsalzplatte, bei dem Vorgange des Berussens ein.

2) Bei der Durchstrahlung durch dünne, auf Glas aufgetragene Metallschichten erfolgt die Erstere, ohne die Letztere.

3) Das Vorhandenseyn einer, bei der Durchstrahlung sich vollziehenden, auswählenden Absorption wird am sichersten durch die Ermittelung erkannt, ob die Wärme vor und nach ihrem Durchgange durch die fragliche Substanz ihre Durchgangsfähigkeit, andern (klaren) diathermanen Körpern (mit glatter Oberfläche) gegenüber, ungeändert beibehält oder wechselt.

4) Eine diffundirende Wirkung wird am besten durch folgende zwei Mittel geprüft:

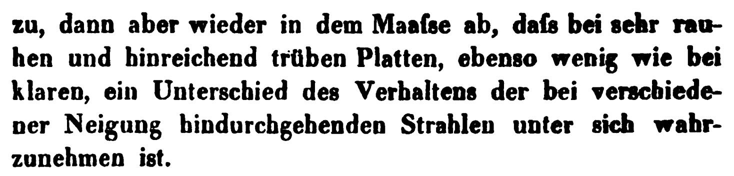
*a*) Läfst man Sonnenwärme durch den betreffenden Schirm hindurchstrahlen und vergleicht die hindurchgelassenen mit den directen Strahlen, so zeigen beide Gruppen entweder einen gleichen oder die erstere einen reichlicheren Durchgang durch matte farblose Steinsalze als die letztere. In diesem Falle ist die zu untersuchende Platte eine diffundirende.

*b*) Geht von zwei thermisch gleichfarbigen Strahlengruppen, deren eine aus parallelen, die andere aus diffusen Strahlen besteht, die letztere besser durch die zu prüfende Substanz hindurch, so ist diese eine diffundirende.

Es ist in diesem Verfahren auch der Weg angezeigt, verschiedene Diffusionsgrade (innerhalb weiter Gränzen) mit einander zu vergleichen.

## IV.

1) *a*) Bei Verkleinerung des Winkels, welchen die Wärmestrahlen mit einer matten oder trüben Platte bilden, wächst im Allgemeinen die auf sie ausgeübte Diffusion. Diese Steigerung mit dem Neigungswechsel nimmt anfangs mit der allgemeinen diffundirenden Beschaffenheit des Schirms





zu, dann aber wieder in dem Maafse ab, dafs bei sehr rauhen und hinreichend trüben Platten, ebenso wenig wie bei klaren, ein Unterschied des Verhaltens der bei verschiedener Neigung hindurchgehenden Strahlen unter sich wahrzunehmen ist.

*b*) Eine durch Zurückwerfung an rauhen Flächen bewirkte Diffusion nimmt dagegen für die flacher auffallenden Strahlen ab und geht immer mehr in eine spiegelnde Reflexion über.

2) Zwischen der glatten und zweiseitig rauhen Oberfläche giebt es Zustände, in Folge deren, ganz abgesehen von jedem Vorgange im Innern der Substanz, die blofse mechanische Beschaffenheit der Oberfläche eine »Färbung« der hindurchgestrahlten Wärme herbeiführt.

3) Es müssen demnach an den betreffenden rauhen und trüben Medien die jedesmal vorhandene Diffusion und die bisweilen auftretende auswählende Absorption in ihren Wirkungen von einander unterschieden werden.

4) Geschmolzenes Kochsalz bewirkte eine Diffusion, aber keine Wärmefärbung.

5) Ein älteres Stück Steinsalz erwies sich chemisch und mechanisch unrein und übte sowohl eine diffundirende Wirkung wie eine auswählende Absorption aus. Derartige Zustände erklären die bei verschiedenen Versuchen mit Steinsalz erhaltenen, von einander abweichenden Beobachtungen.

## II. *Ueber die isomeren Modificationen der Titansäure und über einige Titanverbindungen;* *von Rudolph Weber.*

Das verschiedene Verhalten des durch Alkali gefällten Titansäurehydrats und des durch Kochen von sehr verdünnten Titansäurelösungen erhaltenen Niederschlages hat zu der Ansicht geführt, dafs die Titansäure analog der Zinnsäure in zwei isomeren Modificationen auftrete.

Nach Otto [1]) entspricht das durch Alkali gefällte Hydrat, welches bekanntlich in Säuren sehr leicht löslich ist, dem Hydrate der gewöhnlichen Zinnsäure. Dasselbe enthält, an der Luft getrocknet, nach Demoly [2]) 26 Proc. Wasser und entspricht demnach der Formel: $3\ddot{T}i + 5\dot{H}$. Bei 140° oder im luftleeren Raume getrocknet, wird es zu $3\ddot{T}i + 2\dot{H}$, ist nun in Säuren unlöslich geworden und hat die Beschaffenheit der durch Kochen gefällten Titansäure angenommen, welche nach Demoly denselben Wassergehalt besitzt und also der Formel $3\ddot{T}i + 2\dot{H}$ entspricht. Die durch Kochen gefällte, in Säuren bekanntlich fast unlösliche Titansäure, wird als das Analogon der Metazinnsäure angesehen, in welchen Zustand das lösliche Titansäurehydrat zum Theil schon durch Auswaschen mit kochendem Wasser, also sehr leicht übergeführt wird.

Aus den erwähnten Thatsachen folgt indessen nur, dafs die Titansäure sowohl in einer löslichen, als auch in einer unlöslichen Modification auftreten kann; es folgt aus ihnen nicht, dafs zwischen diesen Modificationen der Titansäure jene Unterschiede obwalten, welche für die isomeren Zinnsäuren so charakteristisch sind, und welche hauptsächlich darin bestehen, dafs aus verdünnten Lösungen der Meta-

1) Otto Lehrbuch, Bd. III S. 372.
2) Liebig Jahresbericht v. 1849, S. 269.





zinnsäure letztere durch Schwefelsäure vollständig und durch concentrirte Salzsäure zum Theil gefällt wird [1]).

Die nachstehend mitgetheilten Versuche weisen aber darauf hin, dafs die Titansäure in einem Zustande auftreten kann, wo sie die vorgedachten, charakteristischen Eigenschaften der Metazinnsäure theilt und sich dann vollkommen analog der letzteren verhält.

Wenn man durch vorsichtige Vermischung von flüchtigem Titanchlorid mit Wasser, am sichersten aber, indem man ein offenes Röhrchen mit Titanchlorid in ein verschliefsbares, etwas Wasser enthaltendes Glas stellt und einige Zeit stehen läfst, eine Auflösung von Titanchlorid in Wasser bereitet hat, so wird die klare Lösung weder von Schwefelsäure noch von Salzsäure oder Salpetersäure getrübt; sie wird aber von Phosphorsäure, Arsensäure, Iodsäure sogleich, und nach längerer Zeit auch durch saures chromsaures Kali niedergeschlagen.

Wird aber diese verdünnte Titanchloridlösung nur einige Augenblicke gekocht, wobei die Flüssigkeit ein schwach opalisirendes Ansehen annimmt, eine wesentliche Ausscheidung von Titansäure aus derselben aber nicht stattfindet, so ist die in der Flüssigkeit aufgelöste Titansäure in die der Metazinnsäure vollkommen entsprechende Modification übergeführt worden, denn die Lösung giebt jetzt beim Zusatz von Salzsäure einen dicken weifsen Niederschlag, der sich in der im grofsen Ueberschufs zugesetzten Säure nicht wieder auflöst. Dieselbe Reaction tritt durch Salpetersäure und Schwefelsäure ein. Bei Anwendung letzterer Säure wird durch einen gewissen Säureüberschufs der zu Anfang erzeugte Niederschlag wieder auflöst. Saures chromsaures Kali fällt sofort einen orangegelben Niederschlag, selbst Essigsäure und Weinsteinsäure bewirken Fällungen. Desgleichen entsteht durch Flufssäure ein Niederschlag, der in der überschüssig zugesetzten Säure sich wieder auflöst. Die oben genannten Säuren, welche selbst die nicht erhitzte Lösung fällen, erzeugen ebenfalls Niederschläge.

1) *H. Rose*, Analyt. Chemie. Bd. II. S 249.

Mithin befindet sich die in der durch Kochen beumständeten Lösung enthaltene Titansäure in einem der Metazinnsäure analogen Zustande, in welchem man dieselbe zweckmäfsig als Metatitansäure bezeichnen kann. Ob in den aus den beiden Lösungen fällbaren Hydraten von Titansäure ein Unterschied im Wassergehalt, der nach Fremy's Untersuchungen bei den Hydraten beider Zinnsäuren vorhanden ist, obwaltet, ist noch nicht entschieden. Dagegen steht es fest, dafs diese Verschiedenheit des Zustandes auf die gefällten Hydrate sich überträgt und nicht nur in den Lösungen der Titansäuren vorhanden ist, denn in den vermittelst Säuren bewirkten Lösungen des Metatitansäurehydrats erzeugen gröfsere Mengen zugefügter Säuren wieder dieselben Niederschläge, welche in der vorher gekochten Titanchloridlösung hervorgebracht wurden.

Es ist zu bemerken, dafs die vorgedachte Umwandlung nur erfolgt, wenn die Lösung die entsprechende Verdünnung hat und wenn sie nicht mehr Salzsäure, als bei der Zersetzung des flüchtigen Chlorids sich bildet, enthält. Vielleicht kann durch sehr andaurendes Kochen auch bei Gegenwart von mehr Säure die Umwandlung bewirkt werden.

Die erwähnten Niederschläge lösen sich, wie die durch Salzsäure in Metazinnchloridlösung erzeugte Fällung wieder vollkommen auf, wenn man die darüberstehende Säure abgiefst und Wasser zufügt. Die Zusammensetzung dieser Niederschläge ist noch nicht ermittelt; der Verfasser ist mit der Untersuchung und Vergleichung derselben mit den entsprechenden Zinnverbindungen beschäftigt.

Es ist ferner zu bemerken, dafs bei der Oxydation von Titanmetall mit Salpetersäure von 1,25 spec. G. der gröfste Theil der erzeugten Titansäure ungelöst verbleibt, also hierin auch das Titan dem Zinn analog sich verhält. Dagegen ist das Verhalten des Titanmetalls gegen Salzsäure, Schwefelsäure anders als das des Zinns; denn diese Säuren lösen das Metall unter Erzeugung violetter Flüssigkeiten, welche die Reactionen des von Ebelmen beschriebenen Titansesquioxydes zeigen, wonach das Vorhandenseyn von Monoxyd-

salzen, die nach Wöhler's [1]) Vermuthungen hierbei entstehen, in den Lösungen des Titanmetalls in jenen Säuren zweifelhaft erscheint.

Das wasserhaltige Titanchlorid verhält sich anders wie das wasserhaltige zweifach Chlorzinn; Zinnchlorid absorbirt bekanntlich unter Bildung eines krystallisirten Hydrats den Wasserdampf, Titanchlorid dagegen bildet unter diesen Umständen eine zerfliefsliche, neben Schwefelsäure eintrocknende, unkrystallinische Masse. Dieselbe ist nach Demoly Titanchloridhydrat, $TiCl_2 + 5HO$.

Versuche, welche mit dem wasserhaltigen Chloride angestellt wurden, ergaben, dafs nicht leicht Verbindungen von constanter Zusammensetzung haben erhalten werden können, denn diese Körper lassen unter der Glocke neben Schwefelsäure Chlorwasserstoff abdunsten, welches man wahrnehmen kann, wenn man das vorsichtig bereitete ölige Gemisch von Titanchlorid und Wasser neben Schwefelsäure in einem mit Luft erfüllten Raume eintrocknen läfst. Die fest gewordene Masse ist indessen, obgleich sie Salzsäure verloren hat, in Wasser fast vollkommen klar auflöslich. Erwärmt man das wasserhaltige Chlorid in einer Schale vorsichtig und bläst Luft darüber, so kann man, wenn die fest gewordene Masse wiederholt mit Wasser befeuchtet wird, eine grofse Menge Salzsäure entfernen; und dennoch löst sich der eingetrocknete Rückstand fast vollkommen wieder in Wasser auf. Die Analyse einer auf diese Weise behandelten eingetrockneten Masse ergab:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Titansäure | 0,421 | Proc. | 60,8 | Proc. |
| Salzsäure | 0,107 | » | 15,6 | » |
| Wasser | 0,162 | » | 23,6 | » |
| | 0,690 | | 100,0 | |

während die Menge des durch Zersetzung des Titanchlorids gebildeten Chlorwasserstoffs der Rechnung nach fast das 7fache beträgt.

Die Titansäure kann also in dem nur wenig Salzsäure

1) Ann. d. Chemie und Pharm. Bd. 73 S. 47.

enthaltenden Wasser wie die Kieselsäure gelöst erhalten bleiben; sie wird aber aus dieser Lösung durch Kochen sogleich gefällt, während bekanntlich die Salzsäure enthaltende Titansäurelösungen die Titansäure schwieriger als andere saure Lösungen beim Kochen abgeben.

---

Es wurden noch folgende bisher nicht beschriebene Titanverbindungen dargestellt und untersucht:

Das dem Chlortitan analoge *Iodid* entsteht, wenn über glühendes Titanmetall Ioddampf geleitet wird, wobei sich das Iodtitan mit überschüssigem Iod gemengt, von dem man es durch Erhitzen in einer zugeschmolzenen, knieförmigen Glasröhre befreien kann, verflüchtigt. Es ist eine feste, rothe schmelzbare Masse, welche in stärkerer Hitze in orangefarbenen Dämpfen sich verflüchtigt. In Wasser löst es sich auf; seine Zusammensetzung entspricht der Formel:

$$TiJ_2.$$

Die Analyse ergab:

| | gefunden | | berechnet | |
|---|---|---|---|---|
| Titan | 8,7 | Proc. | 8,96 | Proc. |
| Iod | 90,6 | » | 91,04 | » |
| | 99,3 | | 100,00 | |

Bemerkenswerth ist, dafs beim Erhitzen eines Gemenges von Iod und Titan fast alles Iod unverbunden absublimirt.

*Titansesquifluorür*, gemengt mit Fluorkalium und unzersetztem Titanfluorkalium, entsteht, wenn über das letztgenannte Doppelsalz in der Glühhitze trocknes Wasserstoffgas geleitet wird. Die geschmolzene Masse ist intensiv violett gefärbt, sie giebt an kochendes Wasser Fluorkalium und Titanfluorkalium ab, und das in Wasser unlösliche Fluorür, das die bekannten Reactionen der Titansesquioxydsalze zeigt, von beigemischten Alkalisalzen sich aber nicht befreien läfst, bleibt ungelöst. Die Analyse desselben führte daher auch zu keinen genauen Resultaten. Es scheint durch längeres Kochen mit Wasser verändert zu werden.

Das bisjetzt noch nicht beschriebene *Titaneisenfluorür* läfst sich sehr leicht erhalten durch Auflösen von Titaneisen in Flufssäure und Kochen der concentrirten Lösung mit Eisen (um das Oxyd zu Oxydul zu reduciren) unter Zusatz von Titansäure. Die Lösung giebt beim Verdunsten sehr leicht und reichlich grüngelbe, luftbeständige, prismatische Krystalle, deren Endigungen indessen meistens nicht ausgebildet sind. Das Salz löst sich in Wasser und ist nach der Formel

$$FeFl + TiFl_2 + 6HO$$

zusammengesetzt, zu welchem Resultate die Ermittelung des Eisens (durch Titriren), die Bestimmung des Fluors und die Wägung eines das Titan und das Eisen (als Titansäure und Eisenoxyd bestehend) enthaltenden Niederschlages führten. Es wurde ermittelt:

| | gefunden | | berechnet | |
|---|---|---|---|---|
| Eisen | 16,6 — 16,8 | Eisen | 17,08 | $\dot{\dot{F}}e + \dot{\dot{T}}i$ |
| Eisenoxyd + Titans. | 47,1 — 48,3 | Titan | 15,24 | 49,4 |
| Fluor | 35,5 | Fluor | 34,72 | |
| | | Wasser | 32,96 | |
| | | | 100,00 | |

Das Titanfluornickel,

$$NiFl + TiFl_2\ 6HO,$$

erhalten durch Verdunsten der Lösung von Nickeloxydul und Titansäure in Flufssäure, krystallisirt schwieriger und ist leichter auflöslich. Es hat eine apfelgrüne Farbe und eine ähnliche Zusammensetzung wie das oben beschriebene Eisendoppelsalz.

Es ergaben:

| | gefunden | | berechnet | |
|---|---|---|---|---|
| Nickeloxydul + Titans. | 48,5 | Nickel | 17,57 | $\dot{N}i + \dot{\dot{T}}i$ |
| Fluor | 34,4 | Titan | 15,15 | 47,2 |
| | | Fluor | 32,52 | |
| | | Wasser | 32,76 | |
| | | | 100,00 | |

*Diese* beiden Salze haben mithin, wie zu erwarten war,

die dem Magnesiumdoppelsalz [1]) entsprechende Zusammensetzung.

Als bequem zur Gewinnung von Titansäure aus Titaneisen hat sich folgendes Verfahren erwiesen, welches vor dem Processe des Aufschliefsens dieses Minerals mit saurem schwefelsaurem Kali oder mit Soda, wobei bekanntlich sehr grofse Mengen der Aufschlufsmittel erfordert werden und lästige Schmelzoperationen auszuführen sind, Vorzüge hat: Das Titaneisen wird durch zweimaliges Abschrecken mürbe gemacht, fein gepulvert und mit dem doppelten Gewichte von Flufsspathpulver vermischt. Das Gemenge wird in eine Platin- oder Bleischale gebracht, und mit soviel (etwas verdünnter) Schwefelsäure, die man portionenweise zufügt, vermischt, bis die Masse einen dickflüssigen Brei bildet. Bei der Einwirkung der Säure auf das Gemenge wird erheblich Wärme entbunden; deshalb ist der portionsweise Zusatz der Säure zu empfehlen. Am Schlusse dieser Operation mufs man dann die Schale gelinde erhitzen. Der Inhalt derselben färbt sich alsbald grau; man bringt ihn, wenn er nicht mehr heller wird, in ein hinreichend grofses Gefäfs mit Wasser, wo sich nach kurzer Zeit Gyps und diverse unlösliche Theile aussondern. Die klare, grüne Flüssigkeit wird abdecantirt, mit Ammoniak gefällt und einige Zeit, da Titansäure in diesem Falle nicht sogleich vollständig sich aussondert, stehen gelassen. Den sehr dunkel gefärbten, aus Titansäure und den Oxyden des Eisens bestehenden Niederschlag colirt man, wäscht ihn etwas aus und löst ihn in möglichst wenig verdünnter Schwefelsäure. Durch die erwärmte Lösung leitet man dann, um das Eisenoxyd zu reduciren, schweflige Säure, giefst die Lösung in kleinen Antheilen in kochendes Wasser und unterhält das Kochen kurze Zeit. Die Titansäure sondert sich alsbald ab; sie enthält geringe Mengen Eisen, von denen man sie nur dadurch befreien kann, dafs man Titanfluorkalium erzeugt, das

1) Liebig Jahresbericht Bd. 12 S. 109.

Salz durch Unkrystallisiren reinigt und aus demselben die Titansäure durch Ammonik fällt.

---

## III. *Ueber Oxydation und Desoxydation, verursacht durch die alkalischen Superoxyde;* *von B. C. Brodie,*

Mitglied d. Königl. Gesellschaft in London und Prof. d. Chemie an der Universität Oxford.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verfasser.)

---

In einer früheren Abhandlung [1]) theilte ich der Royal Society die Resultate einer Untersuchung über die Ursache der gegenseitigen Zersetzung mit, welche zwischen den alkalischen Superoxyden und den Oxyden der weniger elektro-positiven Metalle statt findet. Diese Zersetzung, von der das erste Beispiel durch Thénard gelegentlich des Wasserstoffsuperoxydes entdeckt war, wurde als eine ausnahmsweise und abnorme angesehen, hatte als solche die Aufmerksamkeit der Chemiker auf sich gezogen und war durch verschiedene Hypothesen erklärt worden.

Diese Erklärungen, welche zu zeigen suchten, dafs die Erscheinungen durch Abstofsung ähnlich elektrisirter Theilchen oder mechanische Schwingungen der Molecüle verursacht waren, nahmen den abnormen Charakter an und bezweckten diese von andern chemischen Veränderungen lieber zu isoliren, als sie unter diselben Gesetze zusammenzufassen.

In der oben erwähnten Abhandlung erlaubte ich mir darauf aufmerksam zu machen, dafs diese Anschauungsweise der Zersetzungen eine irrige sey, dafs jene Phänomene einen ganz normalen Charakter besitzen und als ein be-

1) *Philosophical Transactions* 1850, *Part II*, *p.* 759.

sonderer Fall jener allgemeinen Gesetze zu betrachten seyen, welchen alle chemischen Veränderungen unterworfen sind. Zufolge der dort entwickelten Ansichten ist jede chemische Veränderung als bestimmt betrachtet durch die gegenseitige Anziehung der Massentheilchen, die sich in entgegengesetzt-polaren Zuständen befinden. Man kann *a priori* keine Muthmafsung aufstellen, dafs gewisse Theilchen für die Polarisation empfänglich sind und andere nicht; dieser Punkt kann nur durch's Experiment bestimmt werden. Ich führte verschiedene Beispiele auf, welche beweisen, wie jetzt allgemein zugegeben wird, dafs die elementaren Körper im Augenblicke der chemischen Veränderung dieselben Erscheinungen der Polarisation zeigen und denselben Gesetzen der Diäresis und Synthesis unterworfen sind, wie die übrigen chemischen Substanzen. Wenn also nach diesen Ideen das Gewicht zweier Volumina (eines Molecüls) Sauerstoff $O_2$ in der Beziehung zu dem Gewichte zweier Volumina (eines Molecüls) Wasser $H_2O$ steht, dafs in ersterem von 16 Th. Sauerstoff an Stelle von 2 Th. Wasserstoff des letzteren getreten sind, so würde man die Reactionen der Superoxyde aufeinander einerseits und die Bildung oder Zersetzung des Wassers anderseits in ganz analoger Weise betrachten können. Bei ersteren würden die zwei Atome Sauerstoff dieselben Functionen erfüllen und sich beziehungsweise in denselben polaren Zuständen befinden, wie die zwei Atome Wasserstoff und das eine Atom Sauerstoff beim Wasser.

Diese Theorie ist mit keiner besondern Hypothese über die Natur des Sauerstoffs und des Wassers verknüpft, aber sie stellt fest, dafs, wenn wir eine gewisse Behauptung über die moleculare Natur des Wassers aufstellen, wir in Uebereinstimmung ähnliche parallele Behauptungen über die moleculare Natur des Sauerstoffs machen müssen. Unsere molecularen Hypothesen mögen sich ändern, aber dieses Verhältnifs wird dennoch bleiben.

Ansichten über die Polarisation des Sauerstoffs und die Ursache der durch die alkalischen Superoxyde veran-

lafsten Zersetzungen, welche zum grofsen Theile mit dem Vorhergehenden identisch sind, und in denen dieselbe Sprache und dieselbe Bezeichnung angewandt wird, sind kürzlich von Schönbein, Professor der Chemie in Basel, mit beträchtlicher Prätension als neu und von ihm selbst herrührend veröffentlicht worden [1]). Dieser Chemiker kann schwerlich von der erwähnten Abhandlung Kenntnifs haben, da er auf sie in seinen zahlreichen Publicationen keine Andeutung macht. Die Reclamation einer Priorität von zehn Jahren dürfte wohl kaum noch besonders erforderlich seyn, aber ich bin gezwungen die Aufmerksamkeit der Chemiker auf diese Gegenstände zu lenken, um selbst nicht für Jemand gehalten zu werden, der sich die Ideen und Entdeckungen eines andern ohne Anerkennung aneignet.

Die Zersetzung der alkalischen Superoxyde durch Silberoxyd und andere ähnliche Körper ist durch den Umstand verwickelt, dafs die Superoxyde nicht allein durch das metallische Oxyd, sondern durch das reducirte Silber zersetzt werden, welches ein nothwendiges Product der Einwirkung ist. Ferner verursacht wahrscheinlich das Silberoxyd noch eine besondere Zersetzung, welche man als die katalytische zu bezeichnen pflegt. Diefs beeinträchtigt das Resultat; die Quantität des entwickelten Sauerstoffs hängt von der relativen Geschwindigkeit ab, mit der diese beiden Zersetzungsformen auftreten, und während die Reduction in gleichen Atom-Verhältnissen niemals überschritten wird, und durch gewisse Modificationen des Experiments sehr nahe erreicht werden werden mag, so ist sie doch niemals vollkommen erreicht, denn die katalytische Einwirkung kann nicht ganz aufgehoben werden, so dafs im Experimente der Total-Verlust des Sauerstoffs vom Silberoxyd das Verhältnifs repräsentirt, welches zwischen diesen zwei gleichzeitig

1) Annalen der Chemie, Bd. 118, S. 157, 18, Schönbein, »Ueber die gegenseitige Katalyse einer Reihe von Oxyden, Superoxyden und Sauerstoffsäuren etc«. Desgleichen Phil. Mag. Ser. 4 vol. XVI p. 178, 18, »*Further Observations on the Allotropic Modifications of Oxygen etc.*«

auftretenden Zersetzungsformen existirt, und welches einerseits zwischen den Gränzen der Unendlichkeit oder der katalytischen Einwirkung, anderseits zwischen der Reduction in Atom-Verhältnissen schwankt.

Dafs diefs der wahre Grund der Erscheinung ist, ersieht man aus der Thatsache, dafs, wo diese störenden Ursachen nicht existiren, die Zersetzung in einfachen Atom-Verhältnissen stattfindet. Diefs wurde bewiesen durch die Zersetzung des Bariumsuperoxyds durch Iod bei Gegenwart von Wasser. Das Endresultat dieser Einwirkung wird durch die Gleichung ausgedrückt:

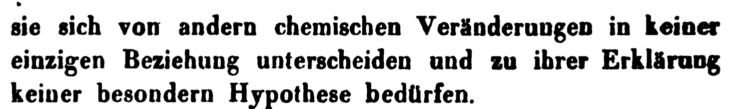
$$J_2 + Ba_2O_2 = 2BaJ + O_2.$$

Die Wirkung kann angesehen werden, als ob sie durch die Zersetzung und Wiederbildung von Wasser stattfinde nach den zwei Gleichungen:

$$J_2 + Ba_2O_2 + H_2O = 2HJ + Ba_2O + O_2$$
$$1HJ + Ba_2O = 2BaJ + H_2O.$$

Der parallele Charakter zwischen dieser Reaction und der Reduction von Metalloxyden ist hinreichend klar. Nichtsdestoweniger war es wünschenswerth, die normale Verändernng beim Oxyde selbst genau zu verwirklichen und einen Fall zu entdecken, in dem die katalytische Einwirkung ausgeschlossen seyn würde.

In der angeführten Abhandlung erwähnte ich verschiedener Beispiele von der Zersetzung alkalischer Superoxyde, die durch die Einwirkung oxydirender Sustanzen in wässeriger Lösung hervorgebracht wird, wie z. B. die Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds durch Chlor und durch Uebermangansäure und die des Bariumsuperoxyds durch unterchlorigsaure Alkalien und durch Ferricyankaliumlösung. Diese Reactionen sind frei von den vorhin erwähnten verwickelten Verhältnissen. Die gegenwärtige Abhandlung enthält eine Untersuchung verschiedener dieser Zersetzungen. Man wird sehen, dafs sie dem Normal-Gesetze der chemischen Wechselwirkung folgen, so dafs die zwei Substanzen, die der Veränderung unterliegen, in einem einfach atomistischen Verhältnisse zersetzt werden, und dafs





sie sich von andern chemischen Veränderungen in keiner einzigen Beziehung unterscheiden und zu ihrer Erklärung keiner besondern Hypothese bedürfen.

Das von Barreswil entdeckte Experiment der Reduction des Wasserstoffsuperoxyds durch Chromsäure bietet Berührungspunkte von besonderm Interesse dar. Wir haben in diesem Falle eine Einwirkung, die je nach dem Verhältnisse der zersetzenden Substanzen, die zugegen sind, variirt und deshalb einen abnormen Charakter zu haben scheint, die indessen, wie eine genaue Untersuchung gezeigt hat, dem atomistischen Gesetze unterworfen ist und in zwei einfache Reactionen zerlegt werden kann.

Nach den Wirkungen der Reduction fahre ich fort, die Wirkungen der Oxydation durch alkalische Superoxyde zu betrachten, die eine besondere theoretische Wichtigkeit haben. Man hat gewisse Theorieen über die verschiedene Natur des Sauerstoffs in den verschiedenen Classen von Superoxyden gebildet, die auf eine Verschiedenheit in den Eigenschaften dieses Sauerstoffs gegründet sind. Es wird gezeigt werden, das die Verschiedenheit der Eigenschaften, zu deren Erklärung diese Hypothesen erfunden sind, nicht existiren, und dafs durch eine zweckmäfsige Abänderung der Umstände die Resultate der Oxydation durch Mangansuperoxyd gleichfalls durch Bariumsuperoxyd erzielt werden können.

Schliefslich werde ich einige Experimente über die katalytische Zersetzung dieser Classe von Superoxyden aufführen, die in der Absicht angestellt waren, die Ursache dieser Wirkung, so wie ihre Beziehungen zu den festgestellten Eigenschaften der Superoxyde zu entdecken. Diese Form der Zersetzung halte ich für die Folge jener doppelten Function von Oxydation und Reduction, welche dieser Gruppe von Substanzen eigen ist.

---

In den folgenden Experimenten, welche mit Hülfe *titrirter* Lösungen gemacht sind, war die Quantität der an-

gewandten Lösung vermittelst einer Reihe von sorgfälltig calibrirten Pipetten gemessen, welche die Einrichtung besafsen, dafs der Rauminhalt einer jeden ein genaues Multiplum vom Rauminhalte der kleinsten Pipette war. Der Rauminhalt dieser Pipette, welchen ich mit $P$ bezeichnen werde, war gleich 4,55 Cubikcent. Die andern Pipetten waren mit $2P$, $3P \ldots \, 10P$ etc. bezeichnet.

Die zum Titriren mit übermangansaurem Kali angewandte Bürette war mit einem Glashahn versehen; sie war getheilt und calibrirt in derselben Weise wie eine Röhre für Gasanalysen. Die Ablesungen wurden mit einem Fernrohr gemacht.

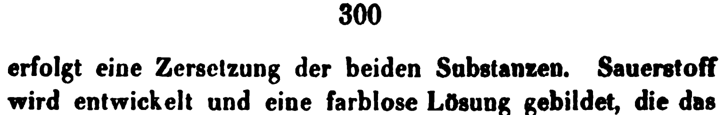
Das angewandte Bariumsuperoxyd war durch Fällung bereitet, nach Art einer andern Orts beschriebenen Methode. Es war frei von allen Unreinigkeiten, mit Ausnahme einer Spur von kohlensaurem Baryt. Wenn von einer Lösung von Bariumsuperoxyd gesprochen wird, so hat man eine Lösung von Bariumsuperoxyd in verdünnter Salzsäure zu verstehen.

Die Lösungen des Natriumsuperoxyds waren durch Digestion des feuchten und frisch gefällten Bariumsuperoxydhydrats mit kohlensaurem Natron, und durch Abfiltriren vom gebildeten kohlensauren Baryt, oder in einigen Fällen durch Fällung und späteres Filtriren einer salzsauren Lösung von Bariumsuperoxyd durch kohlensaures Natron dargestellt.

Meinem Assistenten, Hrn. F. Schickendanz, fühle ich mich für die Geschicklichkeit und Sorgfalt in der Ausführung der zahlreichen Experimente und Berechnungen im Laufe der folgenden Untersuchung, von denen nur ein kleiner Theil hier registrirt ist, sehr verpflichtet.

1. Zersetzung einer Lösung von Bariumsuperoxyd durch Uebermangansäure.

Wenn eine Lösung von übermangansaurem Kali mit einer sauren Lösung von Wasserstoffsuperoxyd gemischt wird, so





erfolgt eine Zersetzung der beiden Substanzen. Sauerstoff wird entwickelt und eine farblose Lösung gebildet, die das Salz des Manganoxyduls enthält.

Das Verhältnifs, in dem die Substanzen in dieser Reaction zersetzt sind, wurde auf folgende Weise bestimmt.

Ein Theil von reinem Bariumsuperoxyd wurde in sehr verdünnter Salzsäure aufgelöst; eine gemessene Quantität dieser Auflösung wurde durch Iodwasserstoffsäure zersetzt und der Betrag von gebildetem Iod mit schwefliger Säure nach Bunsen's Methode bestimmt.

Eine gemessene Quantität der Lösung von übermangansaurem Kali wurde durch Iodwasserstoffsäure zersetzt, und das gebildete Iod nach derselben Methode bestimmt.

Eine gemessene Quantität der Wasserstoffsuperoxydlösung wurde durch die Lösung von übermangansaurem Kali zersetzt, die man aus der Bürette solange zusetzte, bis die Lösung eben gefärbt war.

Wenn nun $s$ die Theile einer titrirten Iodlösung sind, erforderlich zur Zersetzung von 1 Cubikcent. der Wasserstoffsuperoxydlösung, und $s_1$ die Theile der Iodlösung, erforderlich zur Zersetzung von 1 Cubikcent. der Lösung von übermangansaurem Kali, wo $s$ und $s_1$ nach der gewöhnlichen Formel

$$s = \frac{n(t-t_1)}{p}$$

bestimmt sind, und wenn $m$ die durch die Uebermangansäure zersetzten Theile der Wasserstoffsuperoxydlösung sind, und $m_1$ die zu deren Zersetzung erforderlichen Theile der Lösung des übermangansauren Kalis, und wenn $x$ das Verhältnifs des vom Wasserstoffsuperoxyd entwickelten Sauerstoffquantums zu dem vom übermangansauren Kali entwickelten ist, dann ist:

$$x = \frac{ms}{m_1 s_1}$$

Zwei verschiedene Reihen von Experimenten ergaben die folgenden Resultate:

I. $s = 14,1145$ $s_1 = 14,127$
$m = 4,91$ $m_1 = 4,9025$;

woraus

$$x = 1,0007.$$

II. $s = 35,945$ $s_1 = 14,8$
$m = 4,91$ $m_1 = 14,919$;

woraus

$$x = 0,9945.$$

Diefs Experiment gewährt eine einfache und genaue Methode, den absoluten Betrag an Sauerstoff in einer Lösung von Wasserstoffsuperoxyd durch Titrirung mit einer Lösung von übermangansaurem Kali zu bestimmen.

Wenn $e$ die Menge Sauerstoff ist, die 1 Cubikcent. übermangansaures Kali enthält, und $y$ die Menge Sauerstoff in 1 Cubikcent. des Superoxyds, dann ist

$$y = \frac{m_1}{m} e.$$

In den früheren, oben angeführten Experimenten enthält 1 Cubikcent. der Iodlösung 0,00243 Grm. Iod, die 0,00017905 Grm. Sauerstoff aequivalent sind.

Daher ist:

der Sauerstoff in 1 Cubikcent. des übermangansauren Kalis, durch Iod bestimmt = 0,000517 Grm.; der Sauerstoff in 1 Cubikcent. des Wasserstoffsuperoxyds, durch Iod bestimmt = 0,0005147 Grm.;

und

der Sauerstoff in 1 Cubikcent des Wasserstoffsuperoxyds, durch übermangansaures Kali bestimmt = 0,0005144 Grm.

Die obigen Experimente beweisen, dafs in dieser Zersetzung die sich zersetzenden Substanzen gleiche Quantitäten Sauerstoff[1]) entwickeln. Das Endresultat der Reaction mag so ausgedrückt werden:

$$4HCl + H_2Mn_4O_8 + 5H_2O_2 = 4MnCl + 8H_2O + 5O_2.$$

Ich habe diefs Experiment in mannigfacher Weise abgeändert, so dafs ich das Wasserstoffsuperoxyd zum über-

1) Diese Reaction mit demselben Resultate ist gleichfalls von Ashoff untersucht worden. — *Répertoire de Chimie pure*, vol. III p. 296.

mangansauren Kali gab, oder dadurch, dafs ich die Lösungen aufserordentlich verdünnt oder aufserordentlich concentrirt machte, in der Absicht eine Verschiedenheit in der Reaction zu veranlassen, aber stets habe ich ein und dasselbe Resultat erhalten. Obgleich die obige Gleichung genau das Endresultat der Zersetzung ausdrückt, so haben wir nicht zu glauben, dafs die fünf Molecüle Sauerstoff auf einmal ausgeschieden sind, vielmehr geht die Substanz der Reihe nach durch fünf Stadien der Desoxydation, die einander sehr rasch folgen. Wenn zu einem Ueberschufs einer alkalischen Lösung von übermangansaurem Kali eine alkalische Lösung von Natriumsuperoxyd gefügt ist, so wird Sauerstoff ausgeschieden. Die Lösung bleibt jedoch klar, nimmt aber die charakteristisch grüne Farbe des mangansauren Kalis an. Nach dem Zufügen einer weiteren Portion von alkalischem Superoxyde wird wieder Sauerstoff ausgeschieden, die Lösung wird farblos und das Mangansuperoxydhydrat niedergeschlagen. Wenn dieser Niederschlag zu einer sauren Lösung von Wasserstoffsuperoxyd gefügt wird, so wird nochmals Sauerstoff ausgeschieden, beide Superoxyde sind zerstört, und eine Lösung eines Manganoxydulsalzes gebildet. Dieser Versuch zeigt die aufeinanderfolgende Bildung und Reduction eines jeden dieser Oxyde, ehe das Endresultat erhalten ist.

### 2. Zersetzung einer Lösung von Wasserstoffsuperoxyd durch Ferricyankalium.

Wenn eine saure Lösung von Wasserstoffsuperoxyd mit einer sauren Lösung von Ferrocyankalium gemischt ist, so findet eine Oxydation statt und das Ferrocyankalium geht in Ferricyankalium über. Diese Einwirkung erfordert Zeit und findet in verdünnten Lösungen mit äufserster Langsamkeit statt.

Wenn anderseits ein alkalisches Superoxyd mit einer alkalischen oder neutralen Lösung von Ferricyankalium gemischt ist, so findet die umgekehrte Einwirkung statt; Sauer-

stoff wird entwickelt und das Ferricyankalium geht in Ferrocyankalium über.

Das Verhältnifs, in dem die Substanzen bei dieser Reaction zersetzt werden, wurde in folgender Weise bestimmt.

Es wurde eine Lösung von Ferricyankalium gemacht, von der der Gehalt, in einer titrirten Lösung von übermangansaurem Kali ausgedrückt, auf folgende Weise ermittelt war. Eine gemessene Menge der Lösung wurde durch Hinzufügen eines grofsen Ueberschusses von frisch gefälltem Bariumsuperoxydhydrat in Ferrocyankalium verwandelt; die Lösung wurde gekocht bis der Ueberschufs des Bariumsuperoxyds vollständig zersetzt war, und die Menge des gebildeten Ferrocyankaliums vermittelst der titrirten Lösung von übermangansaurem Kali bestimmt.[1])

Eine gemessene Menge einer Lösung von Wasserstoffsuperoxyd, deren Werth nach dem vorhin beschriebenen Verfahren bestimmt und in derselben Lösung von übermangansaurem Kali ausgedrückt war, wurde durch einen Ueberschufs von Barytwasser gefällt. Hierzu wurde nach und nach mit Hülfe einer Pipette eine gemessene Menge der Ferricyankaliumlösung gegeben. Nach dem Experimente wurde die Lösung mit Wasser verdünnt und angesäuert. Der Ueberschufs des Superoxyds und das vorhandene Ferrocyankalium wurde vermittelst derselben Lösung von übermangansaurem Kali bestimmt.

Es ist klar, dafs die letzte Hinzufügung von übermangansaurem Kali zwei Resultate bewirken wird, die Zersetzung des Ueberschusses von Superoxyd, und die Zurückführung des gebildeten Ferrocyankaliums in den Zustand von Ferricyankalium.

Da das Ferrocyankalium in einer sauren Lösung durch das Wasserstoffsuperoxyd zu Ferricyankalium oxydirt wird, so wird ein Theil des reducirten Ferrocyankaliums jene Verwandlung erlitten haben und ein aequivalenter Theil des Wasserstoffsuperoxyds verschwunden seyn.

1) Diefs bietet eine ausgezeichnete Methode zur Bestimmung des Ferricyankaliums dar.

Setzen wir jetzt $s$ = den Theilen der Lösung vom übermangansauren Kali, die einem Theil der Lösung des angewandten Wasserstoffsuperoxyds aequivalent sind, und $s_1$ = den Theilen der Lösung des übermangansauren Kalis, die einem Theile der Lösung des angewandten Ferricyankaliums aequivalent sind, setzen wir ferner $m$ = den Theilen der Lösung des Wasserstoffsuperoxyds, und $m_1$ = den Theilen der Lösung des beziehungsweise zersetzten Ferricyankaliums, sey endlich $x$ = dem Verhältnisse des vom Wasserstoffsuperoxyde entwickelten Sauerstoffs zu dem Sauerstoff, der von der Lösung des Ferricyankaliums entwickelt ist, dann ist:

$$x = \frac{ms}{m_1 s_1}.$$

Der Werth von $ms$ wurde folgendermafsen festgestellt:

Wenn wir $n$ = den Theilen der Lösung des im Experimente angewandten Wasserstoffsuperoxyds setzen, und $p$ = den Theilen der Lösung des nach der Beendigung der Reaction erforderten übermangansauren Kalis, so ist

$$ms = ns - p + m_1 s_1,$$

weshalb

$$x = 1 + \frac{ns - p}{m_1 s_1}.$$

In dem zweiten der folgenden Experimente war das Ferricyankalium im Ueberschufs genommen. Das Experiment war wie zuvor angestellt, mit der Ausnahme, dafs die Lösung des Wasserstoffsuperoxyds, nachdem sie fast neutral gemacht, in die Lösung des Ferricyankaliums getropft worden war. Alles Superoxyd ist zersetzt, in welchem Falle

$$n = m, \quad m_1 s_1 = p,$$

und

$$x = \frac{ms}{p}$$

ist.

I. $s = 1{,}06$ $\quad s_1 = 0{,}4$

$n = 10 \quad m_1 = 10 \quad p = 10{,}6$

$x = 1{,}0000.$

II. $s = 0{,}76$, $p = 7{,}6$
$n = m = 10$
$x = 1{,}0000$.

Ich habe die Form dieser Experimente auf mannigfaltige Weise umgeändert, ohne irgend welche Verschiedenheit in dem resultirenden Werthe von $x$ zu erreichen.

Das Endresultat der Zersetzung ist in der Gleichung dargestellt:

$$2(K_3 Fe_2 Cy_6) + Ba_2 O_2 = 2(K_3 Ba Fe_2 Cy_6) + O_2.$$

3. Zersetzung einer Lösung von Wasserstoffsuperoxyd durch unterchlorigsauren Baryt.

Wenn Bariumsuperoxyd mit einer alkalischen unterchlorigsauren Lösung vermischt wird, so entwickelt sich Sauerstoff, und beide Substanzen werden zersetzt.

Die folgenden Experimente sind mit unterchlorigsaurem Baryt gemacht. Er wurde durch Hindurchleiten von Chlor durch eine Lösung von Barythydrat bis zur vollständigen Sättigung bereitet. Der Ueberschufs an Chlor wurde späterhin durch einen Luftstrom ausgetrieben.

Die Menge des in Lösung befindlichen unterchlorigsauren Baryts war durch dessen Zersetzung mit Iodwasserstoffsäure nach der Bunsen'schen Methode bestimmt.

Der Werth der Wasserstoffsuperoxydlösung war wie früher mit übermangansaurem Kali bestimmt.

Wenn das Wasserstoffsuperoxyd im Ueberschufs genommen war, so wurde eine gemessene Menge der Lösung durch eine Barythydratlösung gefällt. Hierzu wurde eine gemessene Menge der unterchlorigsauren Lösung mit einer Pipette gegeben. Nach der Zersetzung wurde der Ueberschufs des Bariumsuperoxyds vermittelst Uebermangansäure bestimmt, nachdem die Lösung zuvor verdünnt und angesäuert worden war.

Wenn unterchlorigsaurer Baryt im Ueberschufs genommen war, so wurde eine gemessene Quantität der Lösung mit Barytwasser stark alkalisch gemacht, und die gemessene

Quantität der Wasserstoffsuperoxydlösung vermittelst einer Pipette hinzugefügt. Der Ueberschufs vom gegenwärtigen unterchlorigsauren Baryt wurde nach der Zersetzung durch die Iod-Methode bestimmt.

Setzen wir in dem ersten Falle:

$s$ = den Theilen des übermangansauren Kalis, die erforderlich sind zur Zersetzung von einem Theile des angewandten Wasserstoffsuperoxyds;

$s_1$ = den Theilen des übermangansauren Kalis, die einem Theile der Lösung des angewandten unterchlorigsauren Baryts aequivalent sind, berechnet aus der Bestimmung mit Iod;

$m$ = den Theilen der zersetzten Superoxydlösung;

$m_1$ = den Theilen der zersetzten unterchlorigsauren Lösung;

$x$ = dem Verhältnisse der vom Wasserstoffsuperoxyd entwickelten Menge Sauerstoff zu der vom unterchlorigsauren Baryte entwickelten, so ist

$$x = \frac{ms}{m_1 s_1},$$

wo, wenn wir $n$ = den Theilen der im Experimente angewandten Superoxydlösung setzen, und $p$ = den Theilen des übermangansauren Kalis, die erforderlich sind, den Ueberschufs des Bariumsuperoxyds nach der Zersetzung zu zersetzen,

$$ms = ns - p$$

und

$$x = \frac{ns - p}{m_1 s_1}$$

ist.

In dem zweiten Falle, wo der unterchlorigsaure Baryt im Ueberschufs genommen war, möge

$s$ = den Theilen der titrirten Iodlösung seyn, die einem Theile der Wasserstoffsuperoxydlösung aequivalent sind;

$s_1$ = den Theilen derselben Lösung, die einem Theile der unterchlorigsauren Lösung aequivalent sind;

$m$ = den Theilen der im Experimente angewandten Superoxydlösung;

$m_1$ = den Theilen der zersetzten unterchlorigsauren Lösung;

dann ist, wie zuvor

$$x = \frac{ms}{m_1 s_1},$$

wo, wenn wir $n_1$ = den Theilen des im Experimente angewandten unterchlorigsauren Baryts setzen und $p_1$ = den Theilen der Iodlösung, die nach dem Versuche dem Ueberschusse des gegenwärtigen unterchlorigsauren Baryts aequivalent sind,

$$m_1 s_1 = n_1 s_1 - p_1$$

und

$$x = \frac{ms}{n_1 s_1 - p_1}$$

ist.

I. Bariumsuperoxyd im Ueberschusse.

(1) $n = 20$ $m_1 = 10$

$s = 1{,}015$ $s_1 = 1{,}1113$ $p = 9{,}2$

$$ms = ns - p = 20{,}3 - 9{,}2 = 11{,}1$$

$$x = 0{,}997$$

(2) $n = 2$ $m_1 = 2$

$s = 4{,}905$ $s_1 = 0{,}9314$ $p = \left\{ \begin{matrix} 7{,}923 \\ 8{,}005 \end{matrix} \right\}$ Mittel $7{,}964$

$$ms = ns - p = 1{,}846$$

$$x = 0{,}99.$$

II. Unterchlorigsaurer Baryt im Ueberschusse.

$m = 10$ $n_1 = 30$ $p_1 = \left\{ \begin{matrix} 32{,}25 \\ 32{,}4 \end{matrix} \right\}$ Mittel $32{,}325$

$s = 3{,}0126$ $s_1 = 3{,}124$

$$m_1 s_1 = 30{,}155$$

$$x = 0{,}999$$

Das Endresultat ist daher in beiden Fällen der Zersetzung durch die Gleichung ausgedrückt

$$BaClO + Ba_2O_2 = BaCl + Ba_2O + O_2.$$

Durch ähnliche Experimente habe ich festgestellt, daſs ein Aequivalent Chlor in wässeriger Lösung ein Aequiva-

lent Wasserstoffsuperoxyd nach folgender Gleichung zersetzt

$$Cl_2 + H_2O_2 = 2HCl + O_2.$$

**Zersetzung der Chromsäure durch Wasserstoffsuperoxyd.**

Der Charakter der vorhergehenden Reactionen ist ein normaler. Das Wasserstoffsuperoxyd und die Uebermangansäure oder eine alkalische unterchlorigsaure Lösung sind in einfachen Atomverhältnissen gleichzeitig zersetzt und die Bildung des entwickelten Sauerstoffs ist dem allgemeinen Gesetze der Atomverbindungen unterworfen. Die Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds durch Chromsäure besitzt einen scheinbar anomalen Charakter, und nur durch ein aufmerksames Studium der Reaction ersieht man, dafs sie zu derselben Classe wie die vorhergehenden gehört.

Barreswil machte die interessante Beobachtung, dafs Chromsäure in einer sauren Lösung durch Wasserstoffsuperoxyd oxydirt wird und eine wenig beständige blaue Verbindung bildet, welche sich schnell unter Entwicklung von Sauerstoffgas zu Chromoxyd zersetzt. Die Natur dieser Verbindung ist unbekannt. Barreswil glaubte nachweisen zu können, dafs man sie für eine Chromverbindung zu halten habe, die der Uebermangansäure entspricht. Aber er war mit den besonderen Umständen bei der Reaction nicht bekannt.

Durch Versuche, deren genauere Beschreibung überflüssig wäre, hatte ich ermittelt, dafs die durch dieselbe Menge Chromsäure zersetzte Menge Wasserstoffsuperoxyd je nach dem Verhältnisse der beiden Substanzen bei der Mischung variiren könne. Ich stellte deshalb eine Reihe von Versuchen mit der Absicht an, das Gesetz dieser Einwirkung zu bestimmen.

Die absolute Menge der angewandten Wasserstoffsuperoxydlösung war in jedem Experimente dieselbe, nämlich 20 P., oder sehr nahe 100 Cubikcent. Diese Lösung war aus drei Theilen zusammengesetzt; aus einer titrirten Lösung Wasserstoffsuperoxyd, aus verdünnter Salzsäure und aus

Wasser. Man sieht sofort, wie vermittelst der oben erwähnten Reihe calibrirter Pipetten das Volum dieser Lösung constant erhalten werden konnte, während man darin den Betrag an Wasserstoffsuperoxyd veränderte. Die angewandte Salzsäure war aufserordentlich verdünnt, und dasselbe Quantum von Säure wurde in jedem Experimente gebraucht. Ich ermittelte jedoch, dafs die absolute Menge der gebrauchten Salzsäure, innerhalb beträchtlicher Gränzen keinen wahrnehmbaren Einfluſs auf die Reaction hatte. In diese Lösung, die sich in einer kleinen Flasche befand und während des Experiments in einer sehr schnellen Bewegung erhalten wurde, wurde die Chromsäurelösung aus der Pipette in der sie gemessen war, frei laufen gelassen. Nachdem die erste heftige Sauerstoffentwickelung aufgehört hatte, und die blaue Farbe verschwunden war, wurde die Lösung 16 bis 18 Stunden stehen gelassen und der Ueberschufs des Wasserstoffsuperoxyds dann in der unten beschriebenen Weise bestimmt. Bei verdünnten Lösungen ist für die Vollendung der Reaction eine sehr beträchtliche Zeit erforderlich.

Wenn die Chromsäure im Ueberschufs vorhanden war, so wurde das Experiment in einer genau ähnlichen Weise angestellt, indem die Chromsäurelösung auf das Normal-Maafs von 20 P. gebracht war. Das Resultat blieb genau dasselbe, ob man das Wasserstoffsuperoxyd allmählich in die Chromsäure tropfen oder frei aus der Pipette hineinlaufen liefs. Ueber den Einfluſs der Verdünnung und Temperatur bin ich jetzt noch nicht im Stande mit Entschiedenheit zu sprechen; aber die Lösung kann jedenfalls beträchtlich verdünnt seyn (z. B. mit einem gleichen Volum Wasser gemischt), ohne wahrnehmbare Verschiedenheit in den Resultaten zu zeigen.

Der Werth der angewandten Wasserstoffsuperoxydlösungen und der Chromsäure war vermittelst derselben titrirten Iodlösung bestimmt; in derselben Weise wurde der Ueberschufs der einen oder der anderen nach der Zer-

setzung des Wasserstoffsuperoxyds oder der Chromsäure[1]) bestimmt.

Setzen wir nun

$s$ = den Theilen der Iodlösung, die einem Theile der angewandten Wasserstoffsuperoxydlösung aequivalent sind;

$s_1$ = den Theilen derselben Lösung, die einem Theile der angewandten Chromsäurelösung aequivalent sind;

$m$ = den Theilen der im Experimente zersetzten Wasstoffsuperoxydlösung;

$m_1$ = den Theilen der in demselben Experimente zersetzten Chromsäurelösung;

$x$ = dem Verhältnisse des vom Wasserstoffsuperoxyd entwickelten Sauerstoffs zu dem in demselben Experimente von der Chromsäure entwickelten Sauerstoffe; dann ist

$$x = \frac{ms}{m_1 s_1}.$$

Setzen wir desgleichen

$n$ = den Theilen des im Experimente verwandten Wasserstoffsuperoxydlösung;

$n_1$ = den Theilen der in demselben Experimente angewandten Chromsäurelösung;

$r$ = dem Verhältnisse des im Wasserstoffsuperoxyd enthaltenen Sauerstoffs zu dem in der Chromsäure, die im Experimente verwandt wurde, enthaltenen Sauerstoffe; dann ist

$$r = \frac{ns}{n_1 s_1}.$$

Diefs Verhältnifs werde ich das »Verhältnifs der Masse« nennen.

Setzen wir ferner:

1) Chromsäure kann nach dieser Methode nicht genau bestimmt werden wenn die Lösung sehr verdünnt ist. In starken Lösungen ist der Fehler unmerkbar, wie ich durch's Experiment direct ermittelt habe. Aehnliche Schwierigkeiten treten auf, wenn man eine Wasserstoffsuperoxydlösung durch eine titrirte Lösung von schwefeliger Säure direct bestimmen will. Um ein sicheres und genaues Resultat zu erhalten, mufs das Wasserstoffsuperoxyd erst durch Iodwasserstoffsäure zersetzt und das gebildete Iod durch schwefelige Säure bestimmt werden.

$p$ = den Theilen der Iodlösung die dem Ueberschusse des Wasserstoffsuperoxyds nach der Vollendung der Zersetzung aequivalent sind;

$p_1$ = den Theilen der Iodlösung [1]) die dem Ueberschusse der Chromsäure nach Vollendung des Experiments aequivalent sind, wie durch die Formel $p = nt - t_1$ bestimmt war;

dann ist

$$x = \frac{ms}{m_1 s_1} = \frac{ns - p}{n_1 s_1 - p_1}$$

wo entweder $p$ oder $p_1 = 0$, je nachdem die Chromsäure oder das Wasserstoffsuperoxyd im Ueberschuſs vorhanden ist.

Und wenn $y$ daſs Verhältniſs der Differenz der Sauerstoffmenge bezeichnet, die im Wasserstoffsuperoxyd enthalten, und der Sauerstoffmenge, die in der angewandten Chromsäure enthalten ist, zu der Sauerstoffmenge, die von der zersetzten Chromsäure sich ausscheidet, so ist

$$y = \frac{ns - n_1 s_1}{n_1 s_1 - p_1} = \frac{n_1 s_1}{n_1 s_1 - p_1}(r - 1).$$

So lange kein Mangel an Chromsäure vorhanden, wird Alles zersetzt und $y = r - 1$. Wenn der Sauerstoff im Wasserstoffsuperoxyd gleich dem in der angewandten Chromsäure, so ist $y = 0$; wenn dieser Sauerstoff im Betrage gröſser ist, als der in der Chromsäure, so wird $y$ positiv, wenn weniger, negativ. Desgleichen ist

$$\frac{x}{y} = \frac{ns - p}{ns - n_1 s_1}.$$

Der Zähler dieses Bruchs repräsentirt die Zahl der vom Wasserstoffsuperoxyd entwickelten Sauerstoffatome; und der Nenner die Differenz der Zahl der im Wasserstoffsuper-

1) In diesen Experimenten wurde ein bestimmter Theil der Lösung nach Vollendung der Reaction titrirt und der Werth von $p$ und $p_1$ berechnet. In starken Lösungen ist der Fehler aus diesem Grunde multiplicirt und beträchtlich vermehrt worden. Diesem Grunde mag die Abweichung vom Mittel in den Experimenten 1, 3 und 4 der folgenden Tabelle zugeschrieben werden.

oxyd und der in der angewandten Chromsäure enthaltenen Sauerstoffatome.

Wenn $x_1$ ebenfalls gleich dem Verhältnisse der Total-Menge des aus der Lösung entwickelten Sauerstoffs zu der aus der Chromsäure entwickelten bezeichnet, so ist

$$x_1 = \frac{ns + n_1 s_1 - (p + p_1)}{n_1 s_1 - p_1} = 1 + x.$$

Das Verhältnifs des entwickelten Sauerstoffs zu dem ganzen im Experimente genommenen ist

$$= 1 - \frac{p + p_1}{ns + n_1 s_1}.$$

Die beifolgende Tabelle enthält die Zahlenresultate der Experimente und die berechneten Werthe von $r$, $x$ und $y$.

**Tabelle der Experimente über die Zersetzung der Chromsäure durch Wasserstoffsuperoxyd.**

| | $s$ | $s_1$ | $n$ | $n_1$ | $p$ | $p_1$ | | $s$ | $s_1$ | $n$ | $n_1$ | $p$ | $p_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 17,713 | 51,426 | 2 P | 10 P | 0 | 477,31 | 22. | 18,383 | 7,413 | — | — | 28,841 | — |
| 2. | — | — | — | — | — | 478,50 | 23. | — | — | 6 P | 4 P | 69,014 | — |
| 3. | 16,831 | 17,032 | 2 P | 18 P | — | 276,05 | 24. | 17,007 | 6,981 | — | — | 53,708 | — |
| 4. | — | — | — | — | — | 276,60 | 25. | 17,594 | 7,100 | — | — | 57,114 | — |
| 5. | — | — | 2 P | 16 P | — | 240,23 | 26. | 17,082 | 6,981 | 8 P | 4 P | 86,248 | — |
| 6. | — | — | — | — | — | 239,69 | 27. | 17,007 | — | — | — | 85,760 | — |
| 7. | — | — | 2 P | 12 P | — | 171,92 | 28. | — | — | — | — | 86,584 | — |
| 8. | — | — | — | — | — | 171,92 | 29. | — | — | 10 P | 4 P | 116,616 | — |
| 9. | — | — | 2 P | 8 P | — | 103,60 | 30. | 17,23 | — | — | — | 119,02 | — |
| 10. | — | — | — | — | — | 103,99 | 31. | 18,383 | 7,413 | — | — | 127,23 | — |
| 11. | — | — | 2 P | 6 P | — | 69,62 | 32. | 17,23 | 6,981 | 12 P | 4 P | 149,88 | — |
| 12. | — | — | — | — | — | 69,84 | 33. | — | — | — | — | 151,48 | — |
| 13. | 17,042 | 6,981 | 2 P | 12 P | — | 50,26 | 34. | 17,082 | 6,981 | 14 P | 4 P | 182,57 | — |
| 14. | — | — | — | — | — | 50,03 | 35. | 18,515 | 7,413 | — | — | 200,24 | — |
| 15. | — | — | 2 P | 6 P | — | 10,72 | 36. | — | — | — | — | 201,04 | — |
| 16. | — | — | — | — | — | 11,22 | 37. | — | — | 16 P | 4 P | 236,82 | — |
| 17. | 16,305 | 7,415 | 2 P | 4 P | 2,906 | 0 | 38. | — | — | — | — | 236,82 | — |
| 18. | 17,183 | 7,023 | — | — | 0 | — | 39. | — | — | 18 P | 4 P | 272,91 | — |
| 19. | 17,082 | 6,981 | 2 P | — | — | — | 40. | — | — | — | — | 273,31 | — |
| 20. | — | — | — | 4 P | 26,213 | — | 41. | 35,945 | 7,415 | 18 P | 4 P | 585,35 | — |
| 21. | 17,153 | 7,023 | 4 P | — | 27,656 | — | 42. | — | — | — | — | 586,60 | — |

Aus diesen Angaben erhalten wir die folgenden Werthe für $r$, $y$ und $x$:

| | $r$ | $y$ | $x$ | Mittel-werth von $y$ | Mittel-werth von $x$ | | $r$ | $y$ | $x$ | Mittel-werth von $y$ | Mittel-werth von $x$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 0,068 | —12,65 | 0,959 | —12,65 | 0,975 | 23. | 3,720 | 2,72 | 1,696 | 2,691 | 1,709 |
| 2. | — | — | 0,991 | | | 24. | 3,648 | 2,648 | 1,728 | | |
| 3. | 0,110 | — 9,02 | 1,103 | — 9,02 | 1,113 | 25. | 3,705 | 2,705 | 1,703 | | |
| 4. | — | — | 1,123 | | | 26. | 4,888 | 3,888 | 1,803 | 3,876 | 1,811 |
| 5. | 0,123 | — 7,34 | 1,042 | — 7,34 | 1,038 | 27. | 4,864 | 3,864 | 1,799 | | |
| 6. | — | — | 1,026 | | | 28. | — | — | 1,833 | | |
| 7. | 0,164 | — 5,25 | 1,037 | — 5,25 | 1,037 | 29. | 6,08 | 5,08 | 1,911 | 5,15 | 1,918 |
| 8. | — | — | 1,037 | | | 30. | 6,16 | 5,16 | 1,905 | | |
| 9. | 0,247 | — 3,16 | 1,031 | — 3,16 | 1,037 | 31. | 6,20 | 5,20 | 1,909 | | |
| 10. | — | — | 1,043 | | | 32. | 7,39 | 6,39 | 2,034 | 6,39 | 2,000 |
| 11. | 0,329 | — 2,11 | 1,033 | — 2,11 | 1,035 | 33. | — | — | 1,977 | | |
| 12. | — | — | 1,037 | | | 34. | 8,554 | 7,554 | 2,023 | 7,647 | 1,992 |
| 13. | 0,402 | — 1,61 | 1,017 | — 1,61 | 1,014 | 35. | 8,743 | 7,74 | 1,989 | | |
| 14. | — | — | 1,011 | | | 36. | — | — | 1,962 | | |
| 15. | 0,814 | — 0,25 | 1,093 | — 0,25 | 1,103 | 37. | 9,993 | 3,993 | 2,003 | 8,993 | 2,003 |
| 16. | — | — | 1,111 | | | 38. | — | — | 2,003 | | |
| 17. | 1,100 | 0,10 | 1,001 | 0,10 | 1,001 | 39. | 11,24 | 10,24 | 2,032 | 10,24 | 2,027 |
| 18. | 1,223 | 0,223 | 1,223 | 0,222 | 1,222 | 40. | — | — | 2,022 | | |
| 19. | 1,222 | 0,222 | 1,222 | | | 41. | 21,816 | 20,816 | 2,079 | 20,816 | 2,061 |
| 20. | 2,444 | 1,444 | 1,506 | 1,457 | 1,492 | 42. | — | — | 2,043 | | |
| 21. | 2,446 | 1,446 | 1,462 | | | | | | | | |
| 22. | 2,480 | 1,480 | 1,507 | | | | | | | | |

Eine graphische Darstellung der Resultate ist in der beigefügten Curve, Tafel IV Fig. 1, gegeben.

Man sieht bei der Beobachtung dieser Linie, dafs, solange es an Chromsäure nicht fehlt, die beiden Substanzen gleiche Mengen Sauerstoff nach der Gleichung

$$2 Cr_2 O_3 + 3 H_2 O_2 = Cr_4 O_3 + 3 H_2 O + 3 O,$$

verlieren, dafs aber, wenn die Sauerstoffmenge im Wasserstoffsuperoxyd gröfser ist als in der Chromsäure, vom Wasserstoffsuperoxyd mehr zersetzt wird, jedoch niemals die ganze angewandte Menge, und dafs die zersetzte Menge desselben zunimmt, bis das Wasserstoffsuperoxyd acht und ein halb Mal die in der Chromsäure enthaltene Sauerstoffmenge enthält; dafs nach diesem Punkte die Zersetzung constant wird, indem das Wasserstoffsuperoxyd zwei Mal so viel Sauerstoff verliert als die Chromsäure; und dafs bei einer weiteren Steigerung in dem Verhältnisse des angewandten Wasserstoffsuperoxyds diese Gränze nicht überschritten wird. Das Endresultat der Zersetzung ist ausgedrückt durch die Gleichung:

$$2 Cr_2 O_3 + 6 H_2 O_2 = Cr_4 O_3 + 6 H_2 O + 9 O.$$

In welcher Weise haben wir die Zersetzung zwischen diesen äufsersten Gränzen zu betrachten? Haben wir zu denken, dafs die zwei Substanzen fähig sind, in jedem beliebigen Verhältnisse auf einander einzuwirken, und dafs die einfache atomistische Zersetzung die Gränze einer von den Atomverhältnissen unabhängigen Einwirkung ist, die variirt je nach der Masse? oder haben wir vielmehr zu glauben, dafs diese scheinbar unbestimmte Einwirkung die Summe gewisser normaler chemischer Veränderungen ist, welche in einfachen Atom-Verhältnissen statt finden, aber in absolutem Betrage variiren?

Die folgenden Experimente zeigen, dafs die letztere Hypothese die richtige ist, und dafs die Reaction zwischen den äufsersten Gränzen keine gleichartige ist, sondern aus zwei chemischen Veränderungen besteht, die sich dadurch gesondert beobachten und von einander trennen lassen, dafs sie mit sehr ungleicher Geschwindigkeit statt finden.

Eine Periode in der Zersetzung ist durch das Verschwinden der blauen Verbindung markirt. In diesem Moment wurde die Lösung titrirt und der Verlust an Sauerstoff bestimmt. Der Fortschritt der Zersetzung wurde vermittelst desselben Experiments verfolgt, bis endlich der Maximum-Verlust erreicht war. Ich gebe zwei Reihen von Experimenten, in welchen die Substanzen in verschiedenen Verhältnissen genommen waren.

I.

| | Zeit der Titrirung | $s$. | $s_1$. | $n$. | $n_1$ | $p$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Nach Zersetzung der blauen Verbindung | 17,594 | 7,160 | 4P | 4P | 41,98 |
| | | — | — | — | — | 41,88 |
| 2. | Nach $\frac{1}{2}$ Stunde | 17,183 | 7,023 | 4P | 4P | 32,864 |
| 3. | Nach 2 Stunden | — | — | — | — | 28,056 |
| 4. | Nach 18 Stunden | — | — | — | — | 27,656. |

Diese Data geben die folgenden Werthe für $r$, $y$ und $x$:

| | $r$. | $y$. | $x$. | Mittel. |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 2,47 | 1,47 | 0,997 | 1,001 |
| | | | 1,0033 | |
| 2. | 2,446 | 1,446 | 1,277 | 1,277 |
| 3. | — | — | 1,448 | 1,448 |
| 4. | — | — | 1,462 | 1,462 |

II.

| | Zeit der Titrirung | $s$. | $s_1$. | $n$. | $n_1$. | $p$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Unmittelbar | 17,594 | 7,101 | 6P | 4P | 76,956 |
| | | | | | | 76,207 |
| 2. | Nach 1 Stunde | — | — | — | — | 60,12 |
| 3. | Nach $1\frac{1}{2}$ Stunden | — | — | — | — | — |
| 4. | Nach 2 Tagen | — | — | — | — | 57,114. |

Daher haben wir:

| | $r$ | $y$ | $x$ | Mittel |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 3,705 | 2,705 | 1,007 | 1,020 |
| | | | 1,033 | |
| 2. | — | — | 1,593 | 1,593 |
| 3. | — | — | 1,593 | 1,593 |
| 4. | — | — | 1,703 | 1,703 |

[illegible] in zwei Stadien [illegible] nach der Zer-

störung der blauen Verbindung vollendet ist, und in dem die zwei Substanzen gleiche Mengen Sauerstoff verlieren; während das letztere mehrere Stunden zu seiner Vollendung erfordert, in welcher Zeit sich die Lösung in einem fortwährenden Zustande der Veränderung befindet.

Ohne Zweifel ist es schwer mit Sicherheit die Natur der specifischen Veränderungen anzugeben, welche stattfinden und in Bezug auf die sich manche Hypothesen aufstellen lassen.

Die folgende Ansicht jedoch ist in Uebereinstimmung mit den Thatsachen.

1. Wenn $x = 1$ ist, so haben wir die Bildung und die darauf folgende Zersetzung der Substanz $Cr_4O_9$, zufolge der Gleichungen

$$2Cr_2O_3 + 2H_2O_2 = Cr_4O_9 + 3H_2O,$$
$$Cr_4O_9 = Cr_4O_3 + 3O_2.$$

2. Wenn $x = 2$ ist, so wird nach der eben angeführten Reaction die Substanz $Cr_4O_9$ zum Oxyde $Cr_4O_{12}$ weiter oxydirt, gemäfs der Gleichung

$$Cr_4O_9 + 3H_2O_2 = Cr_4O_{12} + 3H_2O.$$

Der Körper $Cr_4O_{12}$ zersetzt sich weiter mit dem Ueberschusse des gegenwärtigen Wasserstoffsuperoxyds, möglicher Weise unter Bildung des höheren Oxyds des Wasserstoffs, $H_2O_3$, und des früheren Products, $Cr_4O_9$

$$Cr_4O_{12} + 3H_2O_2 = Cr_4O_9 + 3H_2O_3.$$

Dafs das Product der ersten Einwirkung sich in einem fortwährenden Zustande der Bildung und Zersetzung während der Veränderung befindet, ist wegen der grofsen Beständigkeit der blauen Verbindung in Gegenwart eines Ueberschusses von Wasserstoffsuperoxyd wahrscheinlich. Die Gegenwart dieses Körpers, der in einem geringen Ueberschusse von Wasserstoffsuperoxyd nur eine momentane Existenz besitzt, wird bei einem Ueberschusse von Superoxyd durch die Dauer der blauen Farbe für zehn Minuten lang augenscheinlich gemacht. Schliefslich zersetzt sich die Substanz $Cr_4O_9$ ungemein rascher als die Substanz $H_2O_3$,

d. h. als das andere oxydirte Product. Die Zersetzung kann also in ihren verschiedenen Stadien in der beschriebenen Weise zerlegt werden, indem die chemischen Veränderungen durch das System von Gleichungen repräsentirt sind:

$$2Cr_2O_3 + 3H_2O_2 = Cr_4O_9 + 3H_2O,$$
$$Cr_4O_9 + 3H_2O_2 = Cr_4O_{12} + 3H_2O,$$
$$Cr_4O_{12} + 3H_2O_2 = Cr_4O_9 + 3H_2O_3,$$
$$Cr_4O_9 = Cr_4O_3 + 3O_2$$
$$3H_2O_3 = 3H_2O_2 + 3O;$$

und das Resultat die Veränderungen durch die Gleichung, welche durch Elimination unter ihnen hervorgeht, nämlich:

$$2Cr_2O_3 + 6H_2O_2 = Cr_4O_3 + 6H_2O + 9O.$$

Da die Menge Sauerstoff aller Wahrscheinlichkeit nach in aufeinanderfolgenden Stadien entwickelt wird, können wir mit Gewifsheit keinen Oxydationsgrad für die blaue Verbindung [1]) feststellen.

Es mag bemerkt werden, dafs, wenn der Zersetzung der Uebermangansäure, wie in diesem Falle, eine Oxydation voranginge, der entsprechende Oxydationsgrad so gebildet seyn würde:

$$Mn_4O_7 + 5H_2O_2 = Mn_4O_{12} + 5H_2O,$$
$$Mn_4O_{12} = 2Mn_2O + 5O_2.$$

Die Zersetzung der Uebermangansäure ist in einer etwas starken Lösung augenblicklich, aber es ist merkwürdig, dafs wenn die Lösung des Wasserstoffsuperoxyds sehr verdünnt ist, die Hinzufügung der ersten Tropfen Uebermangansäure keine scheinbare Veränderung bewirkt. Eine

1) Ich bin nicht im Stande, meine eignen Resultate mit denen Barreswil's in Uebereinstimmung zu bringen, dessen Experimente sorgfältig angestellt zu seyn scheinen. Die Reaction ist nach diesem Chemiker:

$$2Cr_2O_3 + H_2O_2 = Cr_4O_7 + H_2O$$
$$Cr_4O_7 = Cr_4O_3 + 2O_2,$$

indem eine der Uebermangansäure analoge Verbindung gebildet wird. Ich habe jedoch d[illegible]iment nicht genau in derselben Weise wiederholt, in de[illegible] gemacht war, und es ist möglich, dafs es unter gewissen [illegible] diesem Punkte unterbrochen werden kann. Siehe *Annal*[illegible] *physique vol. XX p.* 364.

gewisse Zeit ist zum Beginn der Zersetzung erforderlich, nach der sie mit Regelmäfsigkeit fortschreitet. Es mag in Frage gestellt seyn, ob auch diese Zersetzung nicht durch aufeinanderfolgende Stadien, die der Beobachtung entgehen, bewirkt seyn könne, und ob die Periode, die vor dem Beginn der Einwirkung eintritt, nicht mit der Bildung jener Substanzen ausgefüllt seyn möge, durch deren Wirkung das Endresultat erhalten wird und die der Reihe nach gebildet und zersetzt werden.

**Ueber die durch Wasserstoffsuperoxyd bewirkte Oxydation.**

Wir haben gesehen, dafs Wasserstoff-, Kalium- und Bariumsuperoxyd chemische Eigenschaften besitzen, die den analogen Verbindungen des Bleis und Mangans abgehen. Man hat in ausführlicher Weise versucht, die verschiedenen Reactionen der zwei Classen von Superoxyden zu erklären [1]), nämlich durch die Annahme, dafs es zwei Arten oder Varietäten von Sauerstoff gebe, eine positive und eine negative; man hat angegeben, dafs das Mangansuperoxyd als ein oxydirendes Mittel wirke, weil es die negative Varietät enthält, und dafs das Bariumsuperoxyd als ein reducirendes Mittel wirke, weil es die positive Varietät dieses Elements enthält. Diese Hypothese findet ihre einzige Stütze in einer unvollkommenen und unrichtigen Ansicht der Thatsachen. In Wahrheit existirt zwischen den Eigenschaften der verschiedenen Superoxyde kein solcher fundamentaler Unterschied wie der, den man in dieser Art bezeichnen wollte. Die chemischen Eigenschaften der alkalischen Superoxyde, sowie anderer chemischer Substanzen, variiren mit den Bedingungen, in die sie versetzt, und mit den Substanzen, mit denen sie in Verbindung gebracht sind; und es liegt in unserer Macht, diese Bedingungen so zu ändern, dafs wir mit diesen Superoxyden ganz dieselben Oxydationswirkungen hervorrufen können, wie mit den Su-[illegible]oxyden der andern Gruppe. Diefs wird klar aus den [illegible]len Beispielen, denen leicht noch andere beigefügt [illegible] könnten:

[illegible]nie, Bd. 118, S. 166

1. Eine saure Lösung von Wasserstoffsuperoxyd verursacht die Verwandlung einer Lösung von Ferrocyankalium in Ferricyankalium.

2. Eine alkalische Lösung von Natriumsuperoxyd, zu einer Lösung eines Manganoxydulsalzes gegeben, bildet Mangansuperoxydhydrat.

3. Eine alkalische Lösung von Natriumsuperoxyd oxydirt eine alkalische Lösung von Chromoxyd unter der Bildung von chromsaurem Kali.

4. Eine starke Salzsäurelösung entwickelt Chlor mit Bariumsuperoxyd [1]).

Dafs es wichtige Unterschiede in der Barium- und Mangansuperoxydreaction giebt, ist nicht zu leugnen. Aber zu diesen Unterschieden lassen sich vollkommen analoge Verhältnisse auffinden; sie sind den Unterschieden ähnlich, welche auch andere chemische Substanzen zeigen. Die Erfahrung lehrt uns, dafs es nicht zwei chemische Substanzen giebt, welche identische chemische Eigenschaften besitzen, selbst wenn sie sich auch in sehr vielen Beziehungen noch so ähnlich verhalten. Chlorwasserstoffsäure hat nicht alle Eigenschaften der Iodwasserstoffsäure; Natron nicht alle Eigenschaften des Kalis; Chlor nicht dieselben wie Iod; und Natrium ist vom Kalium verschieden. Ist es also für uns ein Gegenstand der Verwunderung, dafs Mangansuperoxyd nicht alle Eigenschaften des Wasserstoffsuperoxyds hat? bedarf dieser Fall einer besonderen Erklärung und haben wir die verschiedenen Eigenschaften dieser Sub-

1) Professor Schönbein legt das gröfste Gewicht auf das verschiedene Verhalten der zwei Classen von Superoxyden gegen Salzsäure. Er sagt, »die erste Gruppe ist weiter negativ dadurch charakterisirt, dafs kein ihr angehöriges Superoxyd mit irgend einer wasserhaltigen Säure .... Wasserstoffsuperoxyd zu erzeugen vermag, und die zweite Gruppe dagegen, dafs keins ihrer Superoxyde unter irgend welchen Umständen aus der Salzsäure oder irgend einem salzsauren Salze Chlor zu entbinden im Stande ist«. — Annalen der Chemie, Bd. 118, S. 167. Diese übereilte Aussage, deren Wahrheit so leicht hätte geprüft werden können, ist ohne alle Begründung.

stanzen nicht auf die thatsächlichen und bekannten Verschiedenheiten der Elemente, aus denen sie bestehen, zurückzuführen, sondern auf eine ganz und gar hypothetische und eingebildete Verschiedenheit des Sauerstoffs, welcher das gemeinsame Element in beiden Körpern ist? In jeder verschiedenen Verbindung, wenn solch conventionelle Sprache zulässig ist, hat Sauerstoff verschiedene Eigenschaften; und wenn wir über diese Classe von Verschiedenheiten durch die Annahme verschiedener Varietäten von Sauerstoff Rechenschaft geben sollen, so müssen wir nicht nur zwei Formen, sondern eine unbegränzte Anzahl Formen dieses Elements annehmen. Von der innigen Beziehung, in der die chemischen Eigenschaften der Verbindung zu den chemischen Eigenschaften ihrer Bestandtheile stehen, vermögen wir ohne Zweifel keine angemessene Rechenschaft zu geben. Aber die Thatsache dieses Zusammenhangs läfst sich nicht bezweifeln. Wir nehmen den Sauerstoff des Natriumsuperoxyd und übertragen ihn auf das Mangansuperoxyd. In dieser neuen Verbindung wird er nicht länger Reductionswirkungen hervorbringen. Ebenso übertragen wir den Sauerstoff des Bariumsuperoxyds auf Essigsäureanhydrid, und bilden eines der wirksamsten Oxydationsmittel, mit denen der Chemiker bekannt ist; während wir diesen Sauerstoff auf Baryt wieder übertragen können und seine anfänglichen Eigenschaften wiederherstellen. Es ist nicht der Sauerstoff, der verschieden ist, sondern die Elemente sind verschieden, mit denen der Sauerstoff verbunden ist.

Die bestimmte Weise, in der das Endresultat durch Abänderung der Reactionsbedingungen bewirkt ist, wird durch die folgende Reihe von Versuchen klar gemacht.

Bariumsuperoxyd, mit einer concentrirten Salzsäurelösung behandelt, entwickelt Chlor: mit einer verdünnten Salzsäurelösung wird nur Wasserstoffsuperoxyd gebildet. Es war deshalb wahrscheinlich, dafs mit Salzsäure von einem gewissen Concentrationsgrade beide Reactionen gleichzeitig auftreten würden. Diefs ist der Fall, und das Verhältnifs,





in dem die beiden Reactionen auftreten, variirt mit der Concentration der Salzsäure nach einem bestimmten Gesetze.

Eine gewogene Quantität Bariumsuperoxyd wurde in eine kleine Flasche gegeben, die vermittelst einer Kautschukverbindung mit einer Entwicklungsröhre versehen werden konnte. Die Salzsäure wurde kalt auf das Superoxyd gegossen, die Entwickelungsröhre aufgesetzt, und die Mischung schnell gekocht. Das entwickelte Gas wurde über einer Iodkaliumlösung gesammelt: es bestand aus einer Mischung von Chlor und Sauerstoff. Das gebildete Iod wurde durch eine titrirte Iodlösung in der gewöhnlichen Weise bestimmt. Die Salzsäure wurde in sehr großem Ueberschusse genommen; dieselbe absolute Menge wurde in jedem Experimente gebraucht, aber mit verschiedenen Quantitäten Wasser verdünnt. Da eine Wasserstoffsuperoxydlösung beim Kochen in Wasser und Sauerstoff zerlegt wird, so können wir den entwickelten Sauerstoff als ein Maaſs des gebildeten Wasserstoffsuperoxyds betrachten.

Indem wir nun

$\alpha$ = dem Iod setzen, enthalten in 1 Cubikcent. der titrirten Iodlösung,

$s$ = der im Experimente angewandten Quantität Bariumsuperoxyd,

$Z$ = der Quantität Sauerstoff, die dem entwickelten Chlor aequivalent ist, und

$nt - t_1$ mit seiner gebräuchlichen Bedeutung, dann ist

$$Z = \frac{O + \frac{Ba_2O_2}{s}}{J + 0{,}2929} \times \alpha\,(nt - t_1).$$

In jedem der folgenden Experimente wurden 25 Cubikcent. concentrirter Salzsäure genommen. Die absolute Menge reiner Salzsäure in dieser concentrirten Säure wurde experimentell bestimmt; sie belief sich auf 30,33 Procent. $\alpha = 0{,}0029735$.

| Experiment | | Zugefügtes Wasser. | $s$ | $nt - t_1$. | Z. | Mittelwerth von Z. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | grm | | | |
| I. | | 0 | 0,2929 | 125,5 | 8,015 | 8,015 |
| II. | (1) | 5 | 0,3019 | 129,8 | 8,047 | 8,015 |
| | (2) | 5 | 0,3008 | 127,5 | 7,983 | |
| III. | | 6,25 | 0,3006 | 128,6 | 7,866 | 7,866 |
| IV. | (1) | 7,5 | 0,2998 | 122.6 | 7,654 | 7,658 |
| | (2) | — | 0,3080 | 126,1 | 7,662 | |
| V. | (1) | 10 | 0,3037 | 105,9 | 6,528 | 6,623 |
| | (2) | — | 0,3044 | 109,3 | 6,718 | |
| VI. | (1) | 15 | 0,2964 | 65,7 | 4,188 | 4,092 |
| | (2) | — | 0,3025 | 64,6 | 3,997 | |
| VII. | (1) | 20 | 0,3006 | 31,9 | 1,986 | 1,962 |
| | (2) | — | 0,2985 | 30,9 | 1,938 | |
| VIII. | (1) | 25 | 0,2981 | 14,8 | 0,929 | 0,936 |
| | (2) | — | 0,2990 | 15,1 | 0,943 | |
| IX. | (1) | 30 | 0,3321 | 11,6 | 0,6538 | 0,677 |
| | (2) | — | 0,3071 | 11,5 | 0,7005 | |
| X. | (1) | 35 | 0,3025 | 7.5 | 0,464 | 0,460 |
| | (2) | — | 0,2954 | 7,2 | 0.4561 | |
| XI. | (1) | 40 | 0,3064 | 5,7 | 0,3481 | 0,326 |
| | (2) | — | 0,3084 | 5,0 | 0,3035 | |
| XII. | (1) | 50 | 0,3144 | 3,5 | 0,2083 | 0,1974 |
| | (2) | — | 0,3008 | 3,0 | 0,1866 | |
| XIII. | | 60 | 0,2973 | Spuren | — | — |

Es sey $s =$ dem Verhältnisse der Menge Wasser zu der reinen Salzsäure, die in der Salzsäurelösung angewandt ist; wenn Wasser mit Salzsäure gesättigt ist, sey $s = 1$; dann mag $s$ das Verhältnifs der Sättigung genannt werden.

Ferner sey $d =$ der Menge Wasser, die in jedem Experimente zu jeden 100 Cubikcent. der angewandten Salzsäurelösung gefügt ist.

Nun hat man angenommen, dafs bei gewöhnlicher Temperatur 100 Theile Wasser 38 Theile Salzsäure absorbiren, während man fand, dafs die angewandte Säure 30,33 Proc. enthielt.

Daher ist $s$ in jedem Experimente aus der Proportion bestimmt

$$\frac{100}{38} : \frac{100 + d}{30,33} = 1 : s,$$

woraus

$$s = \frac{38\,(100 + d)}{100 \times 30{,}33} = \frac{38}{30{,}33} + \frac{38 \times d}{3033}$$

$$= 1{,}25 + 0{,}0125 \times d;$$

und wenn $y = s - 1$ gesetzt wird

$$y = 0{,}25 + 0{,}0125 \times d$$

und schliefslich, wenn $x =$ dem Sauerstoff gesetzt wird, der dem entwickelten Chlor aequivalent ist, indem die Hälfte des ganzen Sauerstoffs im Bariumsuperoxyd als 1 angenommen wird, so haben wir, wenn wir 16,02 als den ganzen Sauerstoff annehmen,

$$8{,}01 : 1 = Z : x,$$

weshalb

$$x = \frac{Z}{8{,}01}.$$

Aus den vorhergehenden Experimenten haben wir die folgenden Werthe für $d$, $s$, $y$ und $x$:

| Experiment. | $d$. | | $s$. | $y$. | $x$ |
|---|---|---|---|---|---|
| I. | 0 | 0 | 1,25 | 0,25 | 1,000 |
| II. | 5 | 20 | 1,5 | 0,50 | 1,000 |
| III. | 6,25 | 25 | 1,5622 | 0,5622 | 0,9814 |
| IV. | 7,5 | 30 | 1,625 | 0,625 | 0,9567 |
| V. | 10 | 40 | 1,75 | 0,750 | 0,8263 |
| VI. | 15 | 60 | 2,00 | 1,00 | 0,5104 |
| VII. | 20 | 80 | 2,25 | 1,25 | 0,2448 |
| VIII. | 25 | 100 | 2,50 | 1,50 | 0,1167 |
| IX. | 30 | 120 | 2,75 | 1,75 | 0,0844 |
| X | 35 | 140 | 3,00 | 2,00 | 0,0574 |
| XI. | 40 | 160 | 3,258 | 2,25 | 0,0406 |
| XII. | 50 | 200 | 3,75 | 2,75 | 0,0246 |
| XIII. | 60 | 240 | 4,25 | 3,25 | Spuren |

Eine Darstellung der Experimente ist in der beigefügten Curve, Taf. IV Fig. 2 gegeben.

### Katalytische Zersetzungen.

Es ist jetzt erwiesen, dafs die alkalischen Superoxyde eine doppelte Function haben und sowohl als Oxydations- wie auch als Reductionsmittel gebraucht werden können. Unter gewissen Abänderungen der Bedingungen des Experiments können wir getrennt jedes der beiden Resultate er-

halten. Es scheint daher die Vermuthung nicht unbegründet, dafs unter den zahlreichen und verschiedenen Formen chemischer Zersetzung Beispiele aufgefunden werden könnten, in denen diese Phänomene gleichzeitig auftreten. Wenn diefs der Fall wäre, so würde das Resultat das seyn, was man eine Contact- (oder katalytische) Zersetzung nennt, die aber hervorgerufen ist durch zwei aufeinanderfolgende Veränderungen von normalem chemischen Charakter.

Dafs die Verbindung der oxydirenden und reducirenden Wirkung des Wasserstoffsuperoxyds ein genügender Grund ist, die katalytischen Wirkungen hervorzurufen, wird aus den folgenden Beispielen klar.

I. Wir können der Reihe nach die chemischen Veränderungen verwirklichen, deren quantitatives Resultat durch die Gleichungen ausgedrückt wird:

$$MnCl + KHO = KCl + MnHO,$$
$$H_2O_2 + 2MnHO = H_2O + Mn_2H_2O_3,$$
$$H_2O_2 + Mn_2H_2O_3 + 2HCl = 3H_2O + 2MnCl + O_2.$$

Das Endresultat, welches aus der aufeinanderfolgenden Ausführung dieser Experimente hervorgeht, ist in der folgenden Gleichung, aus der vorhergehenden durch Elimination entwickelt, ausgedrückt,

$$2KHO + 2HCl + 2H_2O_2 = 4H_2O + 2KCl + O_2;$$

welche Gleichung wieder aequivalent ist den folgender Gleichungen, nämlich der:

$$KHO + HCl = H_2O + KCl$$

und der Gleichung, welche die katalytische Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds ausdrückt:

$$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2.$$

II. Ebenso, indem wir der Kürze wegen gewisse Umstände in den Reactionen auslassen, können wir die durch folgende Gleichungen dargestellten Resultate hervorbringen:

$$3H_2O_2 + Cr_4O_3 = 3H_2O + 2Cr_2O_3,$$
$$2Cr_2O_3 + 3H_2O_2 = Cr_4O_3 + 3H_2O + 3O_2,$$

woraus durch Elimination,

$$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2.$$

III. Desgleichen

$$2Na_4Fe_2Cy_6 + Na_2O_2 = 2Na_2O + 2Na_3Fe_2Cy_6,$$
$$2Na_3Fe_2Cy_6 + Na_2O_2 = 2Na_4Fe_2Cy_6 + O_2,$$

woraus

$$2Na_2O_2 = 2Na_2O + O_2.$$

IV. Ebenso,

$$2HCl + H_2O_2 = 2H_2O + Cl_2,$$
$$Cl_2 + H_2O_2 = 2HCl + O_2,$$

woraus

$$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2.$$

Exp. I. 1 P einer alkalischen Natriumsuperoxydlösung, angesäuert und titrirt, erforderte 9,31 Cubikcent. übermangansaure Kalilösung.

Eine Lösung von Manganchlorür wurde durch Soda gefällt und 1 P der obigen Lösung dazugegeben. Ein aequivalenter Theil des Manganoxydulhydrats wurde in Mangansuperoxydhydrat verwandelt.

Die Lösung wurde mit Schwefelsäure augenblicklich sauer gemacht, und 2 P derselben Lösung hinzugefügt.

Nachdem die Entwickelung von Gas aufgehört hatte, wurde die Lösung titrirt. Sie erforderte 9,31 Cubikcent. übermangansaure Kalilösung.

3 P des Superoxyds waren hinzugefügt und 2 P zersetzt. Das Mangan war, wie beim Beginn des Experiments in der Form von Oxydul vorhanden.

Exp. II. Zu 1 P der Ferrocyankaliumlösung, welche zu ihrer Titrirung 5,96 Cubikcent. des übermangansauren Kalis erforderte, wurde 1 P einer sauren Wasserstoffsuperoxydlösung gefügt, die 3,681 Cubikcent. derselben übermangansauren Lösung zu ihrer Titrirung erforderte. Ein aequivalenter Theil von Ferricyankalium wurde gebildet.

Die Lösung wurde alkalisch gemacht, und 1 P einer alkalischen Natriumsuperoxydlösung hinzugefügt, welche 3,33 Cubikcent. derselben übermangansauren Lösung zu ihrer Titrirung erforderte.

Die Lösung, sauer gemacht und titrirt, erforderte 5,66 *Cubikcent.* übermangansaures Kali.

Daher war ein Theil Superoxyd, 7,15 übermangansaurem Kali aequivalent, verschwunden.

Das ganze hinzugefügte Superoxyd erforderte 7,01 Theile übermangansauren Kalis.

In diesen Experimenten ist das Verhältnifs der chemischen Substanzen am Ende dasselbe wie im Anfange, nur mit der Ausnahme, dafs das Wasserstoffsuperoxyd zersetzt ist. Wenn die Oxydation und Reduction, welche in den vorhergehenden Beispielen getrennt ausgeführt sind, gleichzeitig stattgefunden hätten und zwar unter denselben allgemeinen Bedingungen, so würde kein anderes Resultat zum Vorschein gekommen seyn, als die Zersetzung des alkalischen Superoxyds, und die Wirkung wäre eine Contact-Wirkung genannt worden. Obgleich wir also bei der katalytischen Zersetzung des alkalischen Superoxyds ohne Zweifel nicht fähig sind, in jedem Falle die genaue Reaction zu specificiren, durch welche das Endresultat erhalten ist, so haben wir doch in verschiedenen Beispielen Anzeichen, dafs die Zersetzung aufeinanderfolgende Stadien dieser Art durchläuft.

Wenn eine alkalische Natriumsuperoxydlösung zu einer schwefelsauren Manganoxydullösung gefügt wird, so wird ein Niederschlag von Mangansuperoxydhydrat gebildet. Wenn indessen einige wenige Tropfen einer aufserordentlich verdünnten Lösung von schwefelsaurem Manganoxydul zu einem Ueberschusse von Natriumsuperoxyd gegeben werden, so entsteht kein Niederschlag, sondern die Lösung bleibt klar, nimmt eine braune Farbe an, und das Superoxyd unterliegt der katalytischen Zersetzung. Wenn ein grofser Ueberschufs einer Natriumsuperoxydlösung zu einer sehr kleinen Quantität frisch gefällten Mangansuperoxydhydrats gefügt wird, so löst sich das Mangansuperoxyd auf, indem es die klare braune Lösung bildet. Man sieht also, dafs das Mangansuperoxyd durch das Natriumsuperoxyd weiter oxydirt werden kann, und dafs das Product dieser Oxydation das Natriumsuperoxyd in Lösung zersetzt.

Ebenso, wenn eine Natriumsuperoxydlösung zu einer

alkalischen Uebermangansäure-Lösung gegeben wird, so wird die letztere zu Mangansäure reducirt, indem die Lösung grün wird: nach weiterem Zusatz von Natriumsuperoxyd nimmt die Lösung dieselbe braune Farbe an wie die, welche durch die Oxydation des Oxyduls hervorgebracht wurde. Wenn jedoch das Superoxyd spärlich zugefügt wird, oder Mangansäure zu dieser Lösung hizukommt, so findet ein Niederschlag von Mangansuperoxyd statt. Es ist die Verbindung, die diese braune Lösung bildet, durch deren Wirkung das Natriumsuperoxyd zersetzt wird; und nur wenn die Zersetzung des letzteren vollständig ist, oder nahe an diesem Punkte tritt das Mangansuperoxyd auf. Die Lösung wird dann trübe und das braune flockige Superoxyd fällt nieder.

Es scheint daher, (1) dafs das Manganoxydul durch Natriumsuperoxyd zu einem Oxyde oxydirt werden kann, wobei es eine braune Lösung bildet; (2) dafs Uebermangansäure durch Natriumsuperoxyd zu derselben Substanz reducirt werden kann, indem es durch die Form von Mangansäure hindurchgeht; (3) dafs wenn die Reduction diesen Punkt in Gegenwart eines Ueberschusses von Superoxyd erreicht, die Reduction für einige Zeit gehemmt ist, und die katalytische Zersetzung beginnt: die braune Verbindung ist während dieser Zersetzung beständig: und wenn das Natriumsuperoxyd fast zersetzt ist, so schreitet die Reduction weiter fort und Mangansuperoxyd wird gebildet.

Diese Erscheinung mag so erklärt werden. Es giebt einen Punkt, wo die oxydirende Wirkung mit der reducirenden des Natriumsuperoxyds zusammentrifft und so zu sagen ihr begegnet: und an diesem Punkte findet die Katalyse statt. Das Mangansuperoxyd ist gebildet: aber solange ein hinreichender Ueberschufs von alkalischem Superoxyd gegenwärtig ist, wird es wieder oxydirt und ebenso schnell zerstört als es gebildet ist. Durch diese fortwährende Reduction und Oxydation wird das Natriumsuperoxyd allmählich zerstört. Zeit ist dazu erforderlich, wie zu allen chemischen Veränderungen: aber zuletzt, wenn nur we-

nig Natriumsuperoxyd übrig bleibt, wird das Mangansuperoxyd gefällt, indem es schneller gebildet als zerstört wird.

Es giebt noch andere Beispiele derselben Classe von Erscheinungen. Wenn eine Natriumsuperoxydlösung zu der Lösung eines Kupfersalzes (schwefelsaures Kupferoxyd oder Kupferchlorid) gefügt wird, so findet anfänglich keine Sauerstoffentbindung statt, aber es bildet sich ein gelblich grüner Niederschlag, wie schon von Thénard beobachtet wurde; dieser Niederschlag kann auf ein Filter gebracht und für kurze Zeit aufbewahrt werden. Wenn eine kleine Portion dieses Niederschlages zu einer alkalischen Natriumsuperoxydlösung gegeben wird, so entwickeln sich Gasblasen, und das Natriumsuperoxyd ist schnell zersetzt. Wenn eine Wasserstoffsuperoxydlösung mit einigen wenigen Tropfen einer schwachen Kupferchloridlösung gemischt, und das Ganze durch Barytwasser gefällt wird, so wird dasselbe gelbe Kupferoxyd gebildet. Das Bariumsuperoxyd wird allmählich zersetzt; aber während der Zersetzung bleibt das gelbe Oxyd beständig und nur zuletzt wird es in Oxydulhydrat zerlegt.

Wenn man eine sehr geringe Menge einer ammoniakalischen Kupferchlorürlösung zu einer alkalischen Natriumsuperoxydlösung giebt, so nimmt die Lösung eine gelbe Farbe an und zersetzt sich allmählig. Während der ganzen Zeit dieser Zersetzung, die sich auf mehre Stunden ausdehnen läfst, ist die gelbe Farbe beständig; aber schliefslich, wenn alles Superoxyd zersetzt ist, erscheint die blaue Farbe der ammoniakalischen Oxydullösung wieder. Die gelbe Lösung des Kupfersuperoxyds, getrennt von der Natriumsuperoxydlösung, kann nur für einige Minuten erhalten werden. Die sonderbare Dauerhaftigkeit dieser Verbindung während der Zersetzung wird durch die Hypothese erklärt, dafs sie fortwährend sowohl erzeugt als vernichtet ist. In dieser Reaction zerlegt die Kali- oder Ammoniaklösung des Kupferoxyds das alkalische Superoxyd in Sauerstoff und das Alkali, genau wie die Schwefelsäure im Aetherbildungsprocesse die Zersetzung des Alkohols in Aether und

Wasser bewirkt. Die frühere Erscheinung können wir als bestimmt betrachten durch eine Reihe abwechselnder und umgekehrter Veränderungen, die denen analog sind' von welchen Williamson gezeigt hat, dafs sie die Aetherbildungserscheinungen veranlassen, nach den Gleichungen:

$$Cu_2O + Na_2O_2 = Cu_2O_2\ ^{1)} + Na_2O$$
$$Na_2O_2 + Cu_2O_2 = Na_2O + Cu_2O + O_2.$$

Es möchte der Klarheit wegen wünschenswerth seyn, die Punkte der vorhergehenden Beweisführung kurz zu wiederholen. Es scheint, 1) dafs wir vermittelst alkalischer Superoxyde zwei Classen von Wirkungen hervorrufen können, nämlich Oxydation und Reduction, und dafs diese doppelte Function dieser Gruppe von Superoxyden eigen ist. 2) Diese Superoxyde werden durch Contact mit einer grofsen Zahl chemischer Substanzen zersetzt, und diese Form der Zersetzung ist gleichfalls der Gruppe eigenthümlich. 3) Die Vereinigung einer oxydirenden Wirkung mit einer reducirenden ist ein Umstand, der die Resultate einer Contact-Zersetzung zu bewirken im Stande ist, und es ist uns in gewissen Fällen möglich, so zu sagen, die Contact-Wirkung vermittelst einer aufeinanderfolgenden Oxydation und Reduction nachzuahmen. 4) Es giebt Beispiele in denen wir einen deutlichen Beweis haben, dafs die Contact-Zersetzung von einer Oxydation und darauf folgender Reduction der Substanz begleitet ist, durch welche die Wirkung bestimmt wird.

In einer Sache, die sich direct so schwer der experimentellen Prüfung unterwerfen läfst, bleibt es ohne Zweifel wünschenwerth, jede Ansicht nur mit grofser Zurückhaltung aufzustellen; und es würde im Ganzen voreilig seyn zu behaupten, dafs diefs die einzige Form wäre, welche eine Contact-Zersetzung annehmen kann. Andere Umstände könnten möglicher Weise zum selben Resultate führen. Indessen

1) Das Kupferoxyd, das hier gebildet wird, ist wahrscheinlich ein Sesquioxyd, welches auch durch die Wirkung eines unterchlorigsauren Alkalis auf Kupferoxydhydrat erzeugt wird. Die genaue Beschaffenheit dieses Oxyds bleibt indessen unwesentlich für den Beweis.

jeder neue Fall, welcher nach diesen Grundsätzen erklärt werden kann, vermehrt die Wahrscheinlichkeit ihrer ausgedehnteren Anwendbarkeit, und giebt der Hoffnung Raum, dafs selbst diese dunkeln Phänomene schliefslich dem Bereiche der Muthmafsung und Speculation entrückt und vermittelst der Methoden der experimentellen Untersuchung ergründet werden.

---

## IV. *Ueber die Bestimmung der chemischen Helligkeit von verschiedenen Theilen der Sonnenscheibe; von H. E. Roscoe.*

Vermittelst der von Bunsen und mir beschriebenen Methode zur directen Messung der chemischen Wirkung des Sonnenlichts [1]), habe ich die chemische Helligkeit verschiedener Theile der Sonnenscheibe bestimmt; obgleich diese Versuche nur als vorläufige zu betrachten sind, glaube ich doch, dafs die erhaltenen Resultate der Veröffentlichung werth sind.

Secchi hat nachgewiesen [2]), dafs die Wärmestrahlung des Mittelpunktes der Sonnenscheibe beinahe doppelt so grofs als die des Sonnenrandes ist, und dafs die Aequatorialzone etwas wärmer als die Polarzone ist. Andere Beobachter haben schon längst einen bedeutenden Unterschied in der Helligkeit zwischen dem Mittelpunkte und dem Sonnenrande bemerkt.

Das Verfahren, das ich anwandte um die relative chemische Helligkeit der verschiedenen Theile der Sonnenscheibe zu messen, bestand darin, dafs ein Sonnenbild von ungefähr 4 Zoll Durchmesser, welches durch einen $3\frac{1}{4}$ zölligen Refractor erhalten wurde, in einer an dem Instru-

1) Diese Ann. Bd. CXVII, S. 529.
2) Astron. Nachr. No. 806, 833.

mente angebrachten Camera auf ein Stück photographischen Normalpapiers fiel. Die Bereitung dieses Papiers, welches die Haupteigenschaft hat, immer denselben Grad der Empfindlichkeit zu besitzen, ist in der oben erwähnten Abhandlung genau beschrieben. Die Einwirkung dauerte von 30 bis 120 Sekunden, während welcher Zeit der Sonnenbewegung, vermittelst einer Tangentenschraube genau gefolgt wurde. Nach hinreichender Einwirkung wurde der Grad der Schattirung verschiedener Theile des Bildes, durch Vergleich mit einem graduirten Streifen photographischen Papiers, der im Pendel-Photometer insolirt worden, bestimmt und die chemischen Intensitäten, die diesen Schattirungen entsprechen, durch Vergleichung mit der in der schon erwähnten Abhandlung gegebenen Tabelle gefunden. Die Zahlen der folgenden Tabelle geben die chemische Helligkeit verschiedener Punkte der Sonnenscheibe am 9. Mai 1863. Es ergiebt sich daraus, dafs die Intensität der chemisch wirksamen Strahlen im Mittelpunkte 3 bis 5 Mal gröfser ist als am Sonnenrande, und dafs demnach die chemischen Strahlen verschiedener Theile der Sonnenscheibe unter sich eine gröfsere Abweichung zeigen, als die Wärmestrahlen nach Secchi. Ohne Zweifel hat diefs seinen Grund darin, dafs die Sonnenatmosphäre die mehr brechbaren chemischen Strahlen verhältnifsmäfsig stärker absorbirt.

**Chemische Helligkeit der Sonnenscheibe am 9. Mai 1863.**

| No. | 1) Im Mittelpunkte der Sonnenscheibe ausgeschnitten. | 2) Bei einer Entfernung von ¼ des Radius vom Sonnenrande ausgeschnitten. | | | 3) Am Sonnenrande ausgeschnitten. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Nordpol | Aequator | Südpol | Nordpol | Aequator | Südpol |
| 1. | 100 | 38,8 | 48,4 | 58,1 | 18,7 | 30,2 | 28,2 |
| 2. | 100 | 52,8 | — | 56,6 | 30,5 | — | 41,0 |

Es ergiebt sich ferner aus der vorstehenden Tabelle, dafs die chemische Helligkeit der Südpolarzone bedeutend gröfser als die der Nordpolarzone war, und dafs die des Aequators dazwischen fiel.

Das zu den Versuchen dienende empfindliche Normalpapier, wird wenn es der Wirkung des Sonnenlichts nicht zu lange ausgesetzt wird, ganz gleichmäfsig gefärbt, wie folgende Ablesungen zeigen, die vermittelst der schon erwähnten Methode erhalten wurden, indem verschiedene Stücke von demselben Normalpapier, das zur Erzeugung der Sonnenbilder benutzt worden, während einiger Sekunden der Wirkung des directen Sonnenlichtes ausgesetzt wurden.

| | Ablesung | Abweichung vom Mittel. |
|---|---|---|
| No. 1 | 101,4 | + 0,94 |
| » 2 | 100,7 | + 0,23 |
| » 3 | 98,5 | — 1,97 |
| » 4 | 101,6 | + 1,13 |
| » 5 | 99,9 | — 0,57 |
| » 6 | 100,7 | + 0,23 |
| Mittel | 100,47 | |

Für genaue Messungen dürfen die Sonnenbilder nur schwach gefärbt seyn; bei zu langer Einwirkung des Lichtes entsteht ein eigenthümlich fleckiges Bild. Diese Erscheinung rührt weder von Unvollkommenheiten des Papiers, noch von atmosphärischen Einflüssen her. Vielleicht werden diese unregelmäfsigen hellen und dunklen Flecken durch Sonnenwolken erzeugt und stehen in Zusammenhang mit der wohlbekannten Erscheinung der rothen Protuberanzen.

Ich beabsichtige in Gemeinschaft mit Hrn. Baxendell vermittelst dieser Methode eine Reihe von Beobachtungen über diesen Gegenstand anzustellen, worüber ich bald Näheres mitzutheilen hoffe.

Manchester 2. Juni 1863.

## V. *Ueber das Verhalten des Quarzes beim Aetzen und beim Schleifen;* *vom Fürsten Salm-Horstmar.*

Es ist bekannt, dafs Quarzkrystalle von der Fluorwasserstoffsäure *nicht gleich leicht* nach allen Richtungen angegriffen werden, und dafs sie den stärksten Angriff erleiden in Richtungen die senkrecht zur optischen Axe sind. Es gilt dieses nicht nur für die natürlichen Krystallflächen, sondern auch für *geschnittene* und polirte Flächen. Am leichtesten greift diese Säure die Schnittflächen an, welche senkrecht zur Axe liegen.

Wie verhalten sich aber diese chemischen Reactionen *nach Richtungen*, zu der Härte des Quarzkrystalles bezüglich dieser Richtungen?

Ein zuverlässiger Mann, der Optiker Wilhelm Steeg in Bad Homburg, hat mir diese Frage dahin beantwortet, dafs er, bei seinem vielfältigen Schneiden und Schleifen von Quarzen zu optischen Zwecken, namentlich auch zu Prismen, *immer gefunden*, dafs der Quarz parallel der optischen Axe *bedeutend* härter ist beim Schleifen als in andern Richtungen, — aber *am weichsten* rechtwinklich zur Axe. — Ferner ist demselben ein merkwürdiger Quarz von Euba in Sachsen vorgekommen, welcher *bedeutend weicher ist* als alle bekannten Quarze. Derselbe hat ein geringeres specifisches Gewicht, ist *nicht* sehr rein, kommt in sehr kleinen Krystallen vor, und ist optisch zweiaxig.

Bei dieser Gelegenheit will ich noch bemerken, dafs mir Professor Sartorius von Waltershausen kleine Quarzkrystalle zeigte, welche *vollständige Rhomboëder* waren und wasserhell. Er erhielt dieselben von einem Mineralogen in England und ihr Fundort war, wenn ich nicht irre, Amerika.

## VI. *Ein neues Verfahren zur kalten Versilberung des Glases;* *von Hrn. A. Martin.*

(*Compt. rend. T. LVI, p.* 1044.)

Unter den vielen Versilberungsmethoden ist, wie es scheint, am geeignesten zur Construction von teleskopischen Glasspiegeln die von Drayton, so wie sie von Hrn. L. Foucault mit aller Ausführlichkeit im *Tome V* der *Annales de l'Observatoire impérial* beschrieben worden. Indeſs erfordert dieſs Verfahren eine groſse Geschicklichkeit und daher war noch eins aufzusuchen, das durch Einfachheit und Sicherheit populär werden könnte.

Nachdem ich alle bekannten Methoden (Aldehyd, Milcherzucker, glucolsauren Kalk usw.) sorgfältig studirt und geprüft hatte, ist es mir gelungen, eine zu finden, die durch ihre leichte Ausführbarkeit einerseits und durch die Adhärenz und physische Beschaffenheit der abgelagerten Silberschicht andrerseits mir alle wünschenswerthen Bedingungen zu erfüllen scheint.

Man bereitet zunächst:

1. Eine Lösung von 10 Grm. salpetersauren Silberoxyds in 100 Grm. destillirten Wassers.

2. Eine wäſsrige Ammoniaklösung von 13° des Cartier'schen Aräometers.

3. Eine Lösung von 20 Grm. Aetznatrons in 500 Grm. destillirten Wassers.

4. Eine Lösung von 25 Grm. gewöhnlichen weiſsen Zuckers in 200 Grm. destillirten Wassers. Man schüttet dazu 1 Cubikcentimeter Salpetersäure von 36°, läſst sie damit 20 Minuten sieden, um die Umwandlung zu bewirken, und ergänzt das Volum zu 500 Cubikcentimeter mittelst destillirten Wassers und 50 Cubikcentimeter Alkohol von 36°.

Hierauf schreitet man zur Bereitung der silberhaltigen

Flüssigkeit. Man gieſst in eine Flasche 12 Cubikcentimeter der Silberlösung No. 1, darauf 8 Cubikcentimeter der Ammoniakflüssigkeit No. 2, dann 20 Cubikcentimeter der Natronlösung No. 3, und 60 Cubikcentim. destillirten Wassers.

Wenn diese Verhältnisse wohl beachtet worden sind, muſs die Flüssigkeit klar seyn, und ein Tropfen einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd muſs darin einen bleibenden Niederschlag erzeugen. Jedenfalls läſst man die Flüssigkeit 24 Stunden stehen; sie kann dann mit voller Sicherheit angewandt werden.

Die zu versilbernde Oberfläche wird mit einem Baumwollenbausch, der mit einigen Tropfen Salpetersäure von 36° getränkt ist, wohl gereinigt, dann mit destillirtem Wasser gewaschen, abgetröpfelt und, mittelst Unterlagen, gelegt auf die Oberfläche eines Bades von der obigen silberhaltigen Flüssigkeit, der man $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ der intervertirten Zuckerlösung No. 4 hinzugefügt hat.

Unter Einfluſs des diffusen Lichts wird die Flüssigkeit, welche die zu versilbernde Oberfläche benäſst, erst gelb, dann braun, und nach 2 bis 5 Minuten überzieht die Versilberung die ganze Glasfläche; nach 10 bis 15 Minuten, wo die Schicht jede wünschenswerthe Dicke erreicht hat, braucht man die Platte nur zu waschen, erst mit gemeinem, dann mit destillirtem Wasser, und darauf, auf die Kante gestellt, an freier Luft zu trocknen.

Die Oberfläche zeigt eine vollkommene Politur unter einem leichten weiſslichen Schleier, welcher sich indeſs durch Gemshaut, der etwas Polirroth aufgestreut ist, entfernen läſst; man hat nun eine glänzende Oberfläche, die durch ihre physische Beschaffenheit ungemein zu dem bezeichneten optischen Zweck geeignet ist.

---

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstr. 47.

1863. ANNALEN №. 11.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CXX.

# I. *Ueber die specifische Wärme wasserfreier und wasserhaltiger schwefelsaurer Salze; von Carl Pape in Göttingen.*

Die vorliegende Abhandlung enthält die Resultate einer Reihe von Beobachtungen, welche ich gegen Ende des Jahres 1860 zu Königsberg i. Pr. zur Ermittelung der spec. Wärme schwefelsaurer Salze mit verschiedenem Wassergehalte angestellt habe. Ich habe diese Untersuchung in der Absicht unternommen, eine Anzahl bisher unbekannter physikalischer Constanten zu bestimmen und die Allgemeingültigkeit des von Neumann auf einige Classen zusammengesetzter chemisch ähnlicher Verbindungen ausgedehnten Gesetzes von Dulong, wonach das Product aus spec. Wärme und aeq. Gewicht bei den chemisch ähnlichen Verbindungen ein constantes ist, bei noch nicht in dieser Beziehung untersuchten chemischen Verbindungen zu prüfen, und zu versuchen, ob sich nicht ein Gesetz für die Abhängigkeit dieses Productes von der chemischen Zusammensetzung ermitteln liefse. Daneben habe ich die Absicht verfolgt, die Neumann'sche Methode zur Bestimmung der spec. Wärme fester und flüssiger Körper mit Rücksicht auf ihre praktische Verwendbarkeit einer weiteren Prüfung zu unterwerfen und sie mit derjenigen zu vergleichen, deren sich Regnault bei seinen berühmten Untersuchungen über die spec. Wärme der chem. einfachen Körper und einer grofsen Reihe chemischer Verbindungen bedient hat. Es schien mir dieser Vergleich um so mehr von Interesse zu

seyn, als sich für eine Anzahl von Körpern ihre spec. Wärme in einer bislang noch nicht aufgeklärten Weise bei Regnault constant gröfser, als bei Neumann ergeben. Die Möglichkeit, eine Exklärung für diese Abweichung zu finden, gewann durch den Umstand, dafs mir durch die Güte meines hochverehrten Lehrers, des Hrn. Prof. Neumann, der Apparat zur Verfügung stand, mit welchem derselbe im Jahre 1830 die eben erwähnten spec. Wärmen bestimmt hat.

Für den genannten Zweck war es gleichgültig, welche Verbindungen ich der Untersuchung unterwerfen wollte, vorausgesetzt dafs ihre spec. Wärmen noch nicht bestimmt waren. Ich habe mich für die schwefelsauren Salze mit verschiedenem Wassergehalte entschieden, weil mir die Bestimmung der spec. Wärme dieser Salze noch aus einem anderen Grunde von Interesse zu werden versprach. Es lag nämlich ferner in meinem Plane, die spec. Gewichte der untersuchten Salze, welche ich ohnediefs bestimmen mufste, um mir Rechenschaft über die Beschaffenheit der Salze geben zu können, zur Ermittelung der chemischen Condensation des Wassers in den verschiedenen Classen der wasserhaltigen schwefelsauren Salze zu benutzen, wie diefs bereits früher von Schröder z. B. mit dem Sauerstoff in den verschiedenen Oxyden ausgeführt ist. Ein Vergleich der spec. Gewichte des Wassers und des wasserfreien Salzes in der Verbindung mit denen im freien Zustande einerseits und den spec. Wärmen des wasserfreien und wasserhaltigen Salzen anderseits, würde dann, wie es mir scheint, die Mittel gegeben haben, die Eigenschaften von Körpern in Zuständen kennen zu lernen, welche sonst der Beobachtung nicht zugänglich sind.

Zu meinem Bedauern ist es mir indefs nicht möglich lich gewesen, die Untersuchung in dem vollen Umfange durchzuführen, wie ich ihn angedeutet habe, es haben sich im Laufe derselben Schwierigkeiten herausgestellt, die ich wegen der Kürze der Zeit, welche ich auf die Ausführung der Beobachtungen verwenden konnte, nicht zu umgehen

vermochte. Namentlich konnte ich die letztgenannte Frage nicht in der beabsichtigten Weise behandeln, da mehrere Salze, die ich, wie alle übrigen, in einer Fabrik mir hatte darstellen lassen, nicht die verbürgte Zusammensetzung zeigten, und da ich durch eigene Bereitung, wegen der Schwierigkeit der Darstellung, nur einige der fehlenden Salze ersetzen konnte. Dieser Umstand und der Wunsch, später die fehlenden Beobachtungen nachzuholen und damit die Arbeit zu vervollständigen, ist der Grund gewesen, weshalb sich die Veröffentlichung der Resultate, welche sich bei dieser Untersuchung ergeben haben, verzögert hat. Da ich indefs auch in der nächsten Zeit voraussichtlich kaum dazu kommen werde, die Untersuchung von Neuem aufzunehmen, so habe ich mich entschlossen, dieselbe, soweit ich sie habe durchführen können, nebst den dabei erhaltenen zuverlässigen Resultaten in der vorliegenden Abhandlung zu veröffentlichen.

Ich fühle mich verpflichtet, Hrn. Prof. Neumann sowohl, wie Hrn. Prof. Werther in Königsberg an dieser Stelle meinen wärmsten Dank zu wiederholen für die Freundlichkeit, mit welcher sie mich in jeder Weise bei Ausführung der Untersuchung unterstützt haben.

Im Folgenden beschäftigte ich mich zunächst damit, in Uebereinstimmung mit Hrn. Prof. Neumann, dessen Methode der spec. Wärme-Bestimmung, wie sie von demselben zum Theil bereits mitgetheilt ist [1]), mit den angebrachten Verbesserungen zu entwickeln. Es scheint mir eine solche ausgedehntere Wiederholung, auch von bereits Bekanntem, und namentlich eine eingehendere Ableitung der Gleichung, welche zur Berechnung der spec. Wärme dient, nebst directer, durch Versuche unterstützter Hervorhebung der Vorzüge der genannten Methode vor anderen und ihrer vorzüglichen Anwendbarkeit um so mehr gerechtfertigt zu seyn, als sie bei allen übrigen Bestimmungen spec. Wär-

1) Diese Annal. Bd. 23. Ferner: *Commentatio de emendanda formula perquam calores corporum specifici ex experimentis methodo mixtionis institutis computantur. Regimonti* 1834.

men bis jetzt keine Berücksichtigung gefunden hat. Die Vorzüge dieser Methode lassen sich der Hauptsache nach kurz dahin aussprechen, dafs sie von vornherein, bei der Ableitung der Gleichung alle die Fehlerquellen berücksichtigt, welche Einflufs auf das Resultat haben und sich überhaupt allgemein berücksichtigen lassen, was von andern Methoden nicht gesagt werden kann, und dafs der bei der Ausführung der Beobachtungen benutzte Apparat den Bedingungen auf das Vollständigste genügt, welche erfüllt seyn müssen, wenn mit demselben zuverlässige Resultate gewonnen werden sollen. Auch dieser Apparat unterscheidet sich wesentlich von dem bisher gebräuchlichen und ich glaube daher, dafs eine detaillirtere Beschreibung desselben, wie ich sie zu geben beabsichtige, einiges Interesse für sich in Anspruch nehmen dürfte.

Nach dieser Darstellung werde ich mich zu der Beschreibung meiner eignen, mit Hülfe der genannten Methode angestellten Beobachtungen wenden und zeigen, wie die erhaltenen Resultate die Vorzüge dieser Methode und ihre Brauchbarkeit zu genauen Bestimmungen spec. Wärmen in jeder Weise bestätigen. Die Resultate, welche die spec. Wärmen mehrerer wasserfreier und wasserhaltiger schwefelsaurer Salze mit verschiedenem Wassergehalte liefern, werde ich dann ferner benutzen, um das erweiterte Gesetz von Dulong zu prüfen und nachzuweisen, dafs dasselbe auch für die genannten Salze volle Gültigkeit besitzt, und zwar dafs innerhalb einer jeden der durch ihren Wassergehalt unterschiedenen Classen wasserhaltiger schwefelsaurer Salze, die ich in Beziehung auf ihre spec. Wärme habe untersuchen können, das Product aus spec. Wärme und aeq. Gewicht ein constantes ist.

Ein Vergleich dieser Producte der verschiedenen Classen unter einander wird eine Abhängigkeit ihres Werthes von dem Wassergehalte unzweifelhaft erkennen lassen. Es zeigt sich, dafs das Product mit dem Wassergehalte wächst und dafs die Zunahme, welche das Product der wasserfreien Salze mit steigendem Wassergehalte erfährt, der jedesma-

ligen Anzahl von Aequivalenten Wasser proportional ist. Es setzt diefs indefs voraus, dafs die sämmtlichen Salze sich in demselben Zustande befinden, dafs sie entweder sämmtlich krystallisirt sind, denn in dem ersteren Falle ist die einem Aeq. Wasser entsprechende Zunahme des Productes eine andere und zwar kleinere, als in dem letzteren.

Zum Schlufs werde ich die Methode, deren sich Regnault bei seinen berühmten Untersuchungen über die spec. Wärme fester Körper bedient hat, mit der von mir benutzten Neumann'schen Methode vergleichen und sie einer eingehenderen Besprechung unterwerfen. Ich werde zeigen, dafs sie Fehler in sich schliefst, von denen die letztere frei ist und dafs eine Berücksichtigung derselben die Regnault'schen Zahlen den von Neumann ermittelten in der That nähert und dafs somit der Grund für die constante Abweichung der spec. Wärmen der von beiden untersuchten Körper in der Fehlerhaftigkeit der Regnault'schen Methode allein zu suchen ist. Es gilt diefs zunächst nur von den ersten Regnault'schen Untersuchungen, ich werde aber ferner zeigen, dafs auch die neueren, namentlich die im Jahre 1861 veröffentlichten, mit Fehlern behaftet sind, die auch hier zum Theil in der Methode selbst liegen, zum Theil aber auch in der practischen Ausführung der Versuche und der Beurtheilung derselben begründet sind. Der Einflufs dieser nachweisbaren Fehler auf das Resultat ist kein unbedeutender, und es dürften die von Regnault bestimmten spec. Wärmen bei Berücksichtigung derselben zum Theil wesentlich andere Werthe erhalten.

### 1. Ableitung des Ausdruckes für die spec. Wärme wie er zur Berechnung der Beobachtungen angewandt ist.

Die Methode, nach welcher ich meine Beobachtungen über die spec. Wärme der im Vorhergehenden bezeichneten Verbindungen angestellt habe, ist die Mischungsmethode in der von Neumann verbesserten Gestalt. Das allgemeine Prinzip dieser Methode ist bekannt, sie besteht im Wesentlichen darin, die Temperaturerhöhung zu beobach-

ten, welche von dem auf seine spec. Wärme zu untersuchenden Körper, nachdem ihm in allen seinen Theilen dieselbe constante und hohe Temperatur ertheilt ist, in einer gewogenen Flüssigkeitsmenge von bekannter spec. Wärme und Temperatur hervorgebracht wird. In dem Folgenden werde ich zunächst den strengen Ausdruck der spec. Wärme für diese Methode ableiten um ihm dann mit Rücksicht auf die einfacheren Verhältnisse wirklich ausgeführter Versuche die Form zu geben, in welcher er zur Berechnung der spec. Wärme eines Körpers aus den beobachteten Gewichten und Temperaturen angewandt werden soll.

Es sey das Gewicht des zu untersuchenden Körpers $g$, seine gesuchte spec. Wärme $c$ und seine hohe constante Temperatur $v$, die entsprechenden Gröfsen der Flüssigkeit zu Anfang der Beobachtung $g_1$, $c_1$, $v_1$, ihre Maximumstemperatur nach dem Eintauchen des erhitzten Körpers $v_m$. Die übrigen mit der Flüssigkeit in Berührung stehenden Körper, das Gefäfs selbst, das Glas und das Quecksilber des Thermometers usw., von denen mit Rücksicht auf ihre sehr geringe Dicke angenommen wird, dafs sie zu den Beobachtungszeiten die Temperatur der Flüssigkeit besitzen, haben die Gewichte $g_2, g_3 \ldots g_n$ und die spec. Wärmen $c_2\, c_3 \ldots c_n$. Es besteht dann bei der Annahme, dafs während der Beobachtung ein Wärmeaustausch zwischen Flüssigkeit und Umgebung nicht stattfindet, zwischen den verschiedenen Gröfsen die Gleichung

$$gcv + (g_1 c_1 + \ldots g_n c_n) v_1 = (gc + g_1 c_1 + \ldots g_n c_n) v_m,$$

aus welcher sich die gesuchte Gröfse $c$ ergiebt, wenn die übrigen bekannt sind.

In der Wirklichkeit kann der Versuch in dieser Einfachheit nicht ausgeführt werden, weil da stets zwei Fehlerquellen vorhanden sind, die sich nie vollständig vermeiden lassen und deshalb Correctionen erfordern, ohne deren Berücksichtigung das Resultat fehlerhaft seyn würde. Ein Fehler entsteht dadurch, dafs die Maximumstemperatur der Flüssigkeit über der Temperatur der Umgebung liegen mufs, damit das Maximum beobachtet werden kann, und dafs in

Folge davon vor dem Eintritt desselben ein Wärmeverlust an die Umgebung eintreten wird. Dieser Fehler kann vollständig gar nicht vermieden werden, auch selbst nicht durch die von Rumford vorgeschlagene Vorsichtsmaſsregel, wonach die Anfangstemperatur ebenso viel unter der der Umgebung seyn soll, als die Maximumstemperatur die letztere nachher überholt, weil nach dem Eintauchen des erhitzten Körpers ein ungleichmäſsiges, zu Anfang rascheres Ansteigen der Temperatur stattfindet. Der zweite Fehler liegt darin, daſs der eingetauchte Körper in der Zeit, während welcher das Maximum beobachtet wird, nach der Definition des Maximums noch eine höhere als die beobachtete Temperatur besitzt, und daſs also das Maximum niedriger beobachtet wird als es seyn würde, wenn der erhitzte Körper beim Eintritt des Maximums schon alle seine überschüssige Wärme an die Flüssigkeit abgegeben hätte. Dieser Fehler ist um so bedeutender je schlechter das Wärmeleitungsvermögen und je gröſser die Stücke des untersuchten Körpers sind. Durch Zerkleinern der angewandten Stücke kann er allerdings verkleinert werden, mit Vortheil indeſs nur bis zu einem bestimmten Grade, weil die Anwendung zu kleiner Theile die Wärmeausgleichung mit der Flüssigkeit wieder erschweren würde.

Vollständig können also beide Fehler nicht vermieden werden. Wenn bei allen Versuchen die hier wesentlichen Verhältnisse stets die gleichen wären, so würde man durch zweckmäſsig angestellte vorläufige Versuche eine Interpolationsformel für die jedemal an $v_m$ anzubringenden Correctionen ermitteln und dadurch die genannten Fehler eliminiren können. Allein, da eine solche Constanz aller Verhältnisse, die auf das Resultat von Einfluſs seyn können, bei der leichten Veränderlichkeit der äuſseren Beschaffenheit der Apparattheile, nicht verbürgt werden kann, so darf auch eine derartige Correctionsmethode keine Anwendung finden. Es muſs vielmehr darauf gesehen werden, Mittel und Wege zu finden, durch welche der Einfluſs dieser Fehler von vorne herein auf ein Minimum reducirt wird,

und einen solchen Ausdruck für die Vertheilung der Wärme bei diesen Versuchen zu ermitteln, in welchem die Fehler berücksichtigt sind und der es erlaubt, dieselben, soweit sie nicht vollständig haben vermieden werden können, für jeden Versuch zu bestimmen. Die folgende Betrachtung wird zum Ziele führen.

Es sey die constante Temperatur der Umgebung $u$, die freie Oberfläche des Mischgefäfses $o_1$ und die äufsere Wärmeleitungsfähigkeit der Substanz des Gefäfses $h_1$, die veränderliche Temperatur der Flüssigkeit $v_1$, so ist im Zeitelement $dt$ der Wärmeverlust des Gefäfses nach der Umgebung hin

$$h_1 o_1 (v_1 - u) dt,$$

vorausgesetzt dafs $v_1 - u$, wie in allen meinen Versuchen, nur wenige Grade beträgt, weil sonst das Newton-Lambert'sche Gesetz nicht gilt und der Wärmeverlust der Temperaturdifferenz nicht einfach proportional ist. Wenn die in der Zeit $dt$ erfolgte Temperaturabnahme der Flüssigkeit $dv_1$ ist, so ist der entsprechende Wärmeverlust, mit Beibehaltung der früheren Bezeichnung, auch

$$= - dv_1 (g_1 c_1 + \dots + g_n c_n),$$

so dafs also die Temperatur der Flüssigkeit als eine Function der Zeit durch die Differentialgleichung

$$dv_1 = - \frac{h_1 o_1 (v_1 - u) dt}{g_1 c_1 + \dots + g_n c_n}$$

gegeben wäre. Diese Gleichung stellt aber den Vorgang in der Flüssigkeit noch nicht genau dar, da dieselbe in der Zeit $dt$, in welcher der besprochene Wärmeverlust stattfindet, von dem eingetauchten heifsen Körper Wärme aufnimmt. Wenn $g$ das Gewicht dieses Körpers, $c$ seine spec. Wärme, $o$ seine freie Oberfläche und $h$ sein äufseres Leitungsvermögen in Beziehung auf die angewandte Flüssigkeit, so ist diese Wärmemenge, oder die welche der Körper verliert,

$$= ho(v - v_1) dt$$
$$= - dv \,.\, g \,.\, c$$

und seine Temperatur $v$ ist als Function der Zeit ausgedrückt durch die Gleichung

$$dv = -\frac{ho(v-v_1)dt}{gc}.$$

Wenn jetzt $dv_1$ die aus beiden Ursachen herrührende Temperaturänderung der Flüssigkeit bezeichnet, und wird der Einfachheit wegen gesetzt

$$ho = w;\ h_1 o_1 = w_1$$
$$gc = s;\ g_1 c_1 + \ldots + g_n c_n = s_1,$$

so sind die beiden Differentialgleichungen, von denen der ganze, der Methode zu Grunde liegende Procefs abhängt, folgende:

$$\left.\begin{aligned} \frac{dv_1}{dt} &= \frac{w}{s_1}(v-v_1) - \frac{w_1}{s_1}(v_1 - u) \\ \frac{dv}{dt} &= -\frac{w}{s}(v-v_1) \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (1).$$

Um die spec. Wärme $c$ bestimmen zu können, sind die Gleichungen zu integriren. Werden zu diesem Zwecke die besonderen Integrale eingeführt

$$v = Ae^{-\lambda t},\ v_1 = Be^{-\lambda t},$$

in denen $A$, $B$ und $\lambda$ näher zu bestimmende Constanten sind, und wird gleichzeitig die Temperatur von der der Umgebung an gerechnet, also $u = o$ gesetzt, so ergeben sich die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} (w + w_1 - \lambda s_1)B &= wA, \\ (w - \lambda s)A &= wB, \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

aus denen zur Bestimmung von $\lambda$ die quadratische Gleichung

$$\lambda^2 - \lambda\left(\frac{w}{s} + \frac{w+w_1}{s_1}\right) + \frac{ww_1}{ss_1} = 0$$

folgt. Die Berücksichtigung der beiden Wurzeln dieser Gleichung:

$$\left.\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{w_1}{s + s_1 + \frac{w_1}{w}s} \\ \lambda_2 &= \frac{w}{s} + \frac{w+w_1}{s_1} - \frac{w_1}{s + s_1 + \frac{w_1}{w}s} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

und der zwischen den Constanten $A$ und $B$ nach (2) bestehenden Beziehung führt zu den folgenden Gleichungen

für $v$ und $v_1$, in denen $A_1$, $A_2$, $\lambda_1$, $\lambda_2$ aus den Versuchen selbst zu bestimmende Constanten sind:

$$v = A_1 e^{-\lambda_1 t} + A_2 e^{-\lambda_2 t},$$

$$v_1 = A_1 \left(1 - \lambda_1 \frac{s}{w}\right) e^{-\lambda_1 t} + A_2 \left(1 - \lambda_2 \frac{s}{w}\right) e^{-\lambda_2 t}.$$

Die Einführung der speciellen Werthe $V$ und $V_1$, welche $v$ und $v_1$ zu Anfang der Beobachtung, also für $t = 0$ haben, führt zu der Bestimmung der Constanten $A_1$ und $A_2$:

$$A_1 = \frac{V\left(1 - \lambda_2 \frac{s}{w}\right) - V_1}{(\lambda_1 - \lambda_2)\frac{s}{w}},$$

$$A_2 = -\frac{V\left(1 - \lambda_1 \frac{s}{w}\right) - V_1}{(\lambda_1 - \lambda_2)\frac{s}{w}}.$$

Die Substitution dieser Werthe in den Ausdruck für $v_1$ giebt die gesuchte Gleichung, durch welche $v_1$ als Function der Zeit bestimmt ist:

$$v_1 = \frac{\left[V\left(1-\lambda_2\frac{s}{w}\right)-V_1\right]\left[1-\lambda_1\frac{s}{w}\right]e^{-\lambda_1 t}-\left[V\left(1-\lambda_1\frac{s}{w}\right)-V_1\right]\left[1-\lambda_2\frac{s}{w}\right]e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)\frac{s}{w}}.$$

Zur Bestimmung der hierin allein noch unbekannten Gröfsen $\lambda_1$ und $\lambda_2$ kann der Umstand mit Vortheil benutzt werden, dafs $\lambda_2$ bedeutend gröfser als $\lambda_1$ ist. Aus (3) folgt zunächst, dafs $\lambda_2$ hauptsächlich von dem Gliede $\frac{w}{s}$ abhängt, da $w = ho$ sehr grofs und $s$ gegen $s_1$ in den Versuchen immer klein ist. Das Leitungsvermögen $h$ der Körper gegen Flüssigkeiten ist immer bedeutend gröfser, als das gegen Luft, so ist es gegen Wasser im Mittel 9,5, gegen Luft dagegen höchstens 0,1. Wenn die Oberfläche des eingetauchten Körpers gleich der der Flüssigkit gesetzt wird — in Wirklichkeit ist sie wegen der Zerstückelung des Körpers bedeutend gröfser — so ergiebt sich für das Verhältnifs $w : w_1$ der Werth 95,0. Da nun ferner in den von mir angestellten Versuchen $s_1$ immer bedeutend gröfser

als $s$ war, so ergiebt sich daraus, abgesehen davon dafs $w$ durch eine weitere Zerkleinerung des Körpers, also durch eine Vergröfserung seiner Oberfläche, vergröfsert werden kann, dafs $\frac{w}{s}$ gegen $\frac{w_1}{s_1}$ und alle übrigen Glieder in $\lambda_2$ sehr grofs ist und hauptsächlich den Werth dieser Wurzel bedingt. Aus denselben Gründen folgt weiter, dafs $\lambda_1$ hauptsächlich durch $\frac{w_1}{s_1}$ dargestellt wird und, da $\frac{w_1}{s_1}$ gegen $\frac{w}{s}$ sehr klein ist, dafs $\lambda_1$ gegen $\lambda_2$ sehr klein seyn mufs.

Die Berücksichtigung dieses Resultates zeigt, dafs nach dem Verlaufe einer längeren Zeit $t_n$ das zweite von $e^{-\lambda_2 t}$ abhängende Glied in $v_1$ verschwindet und dieses allein durch das erstere dargestellt ist:

$$v_1 = \frac{\left[V\left(1-\lambda_2\frac{s}{w}\right)-V_1\right]\left(1-\lambda_1\frac{s}{w}\right)e^{-\lambda_1 t_n}}{(\lambda_1-\lambda_2)\frac{s}{w}}.$$

Es ist diefs immer der Fall, sobald der Quotient aus je zwei in gleichen Zeitintervallen beobachteten Werthen von $v_1$ oder die Differenz der Logarithmen dieser Werthe, das logarithmische Dekrement, sich constant zeigt; es giebt dann dieses Dekrement den Werth von $\lambda_1$:

$$\lambda_1 = \frac{\log v_n - \log v_{(n+1)}}{(t_{n+1}-t_n)\log e}.$$

Um die Gleichung für $v_1$ auf eine für die Berechnung der spec. Wärme geeignete Form zu bringen, und namentlich um die schwer zu beobachtenden Gröfsen $w$ und $w_1$ zu eliminiren, kann man in der folgenden Weise verfahren. Es ergiebt sich die Zeit $T$, nach deren Verlauf das beobachtete Temperaturmaximum der Flüssigkeit $V_m$ eintritt, aus der Gleichung, welche man erhält, wenn der Differentialquotient $\frac{dv_1}{dt}$ gebildet und gleich Null gesetzt wird:

$$= \frac{-\lambda_1\left[V\left(1-\lambda_2\frac{s}{w}\right)-V_1\right]\left[1-\lambda_1\frac{s}{w}\right]e^{-\lambda_1 T}+\lambda_2\left[V\left(1-\lambda_1\frac{s}{w}\right)-V_1\right]\left[1-\lambda_2\frac{s}{w}\right]e^{-\lambda_2 T}}{(\lambda_1-\lambda_2)\frac{s}{w}} \quad (4).$$

Zu dieser Gleichung addiren wir nun ferner diejenige, welche wir erhalten, wenn wir in dem Ausdrucke für $v_1$ dieses durch $V_m$ und $t$ durch $T$ ersetzen und haben dann als einfacheren Ausdruck zur Bestimmung der spec. Wärme $c$:

$$V_m = -\frac{\left[V\left(1-\lambda_2\frac{s}{w}\right)-V_1\right]\left[1-\lambda_1\frac{s}{w}\right]e^{-\lambda_1 T}}{\lambda_2\frac{s}{w}} \quad . \quad (5)$$

Der Einflufs der Zeit $T$ ist nur ein sehr geringer, es ist deshalb vortheilhafter, sie nicht aus der Gleichung (4) zu berechnen, sondern sie direct an einer Sekundenuhr zu beobachten, was immer mit völlig genügender Genauigkeit geschehen kann.

Zur weiteren Vereinfachung des Ausdruckes für $V_m$ berücksichtigt man die zwischen den Wurzeln $\lambda_1$ und $\lambda_2$ der obigen quadratischen Gleichung bestehenden Beziehungen

$$\lambda_1 + \lambda_2 = \frac{w}{s} + \frac{w+w_1}{s_1},$$

$$\lambda_1 \lambda_2 = \frac{w w_1}{s s_1},$$

und erhält:

$$V_m = \left[(Vs + V_1 s_1)\frac{w}{\lambda_2 s s_1} - V_1\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right]e^{-\lambda_1 T}.$$

Substituirt man in diesen Ausdruck den folgenden, welchen man durch Division von $(\lambda_1 + \lambda_2)$ durch $\lambda_2(s + s_1)$ erhält:

$$\frac{w}{s s_1 \lambda_2} = \frac{1}{s+s_1} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2(s+s_1)} - \frac{w_1}{s_1(s+s_1)\lambda_2},$$

so ergiebt sich:

$$V_m = \left\{\frac{Vs+V_1 s_1}{s+s_1} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\left(\frac{Vs+V_1 s_1}{s+s_1} - V_1\right) - \frac{w_1}{\lambda_2 s_1}\cdot\frac{Vs+V_1 s_1}{s+s_1}\right\}e^{-\lambda_1 T}.$$

Zur weiteren Elimination der schwer zu bestimmenden Gröfse $w_1$, welche an die Stelle von $w$ getreten ist, müssen einige Annäherungen eingeführt werden, die ihre Berechtigung in dem Gröfsenverhältnisse von $\lambda_1$ zu $\lambda_2$ und den in diesen enthaltenen Gröfsen finden. Es ergiebt sich durch Division von $\lambda_1\lambda_2$ durch $\lambda_1 + \lambda_2$

$$\frac{\lambda_1}{1+\frac{\lambda_1}{\lambda_2}} = \frac{\frac{w_1}{s+s_1}}{1+\frac{w_1}{w}\frac{s}{s+s_1}}.$$

Hierin können auf beiden Seiten im Nenner die zweiten Glieder, wegen ihres oben bewiesenen verschwindenden Werthes gegen die Einheit, vernachlässigt werden, so dafs also

$$w_1 = \lambda_1 (s + s_1)$$

wird. Berücksichtigt man ferner, dafs

$$\frac{Vs + V_1 s_1}{s + s_1}$$

nichts Anderes ist als der direct beobachtete, nicht corrigirte Werth $V_m$ und dafs man diesen Werth, der sich von dem corrigirten Werthe nur wenig unterscheidet, in den an sich schon sehr kleinen beiden letzten Gliedern des Ausdruckes für $V_m$ durch dieses selbst ersetzen kann, ohne der Genauigkeit des Resultats zu schaden, und vernachlässigt man aufserdem das sehr kleine Glied $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\frac{s}{s_1}V_m$ gegen $V_m$ vollständig, so ergiebt sich zur Bestimmung der spec. Wärme die Gleichung

$$s = \frac{V_m e^{\lambda_1 T} - V_1\left(1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)}{V - V_m e^{\lambda_1 T} - V_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2}} s_1 \quad . \quad . \quad (6),$$

in welcher nur noch $\lambda_2$ näher zu ermitteln überbleibt.

Um diese noch allein unbekannte Gröfse $\lambda_2$ zu finden, müssen einzelne Versuche, die mit einem und demselben Körper angestellt werden, so eingerichtet werden, dafs die Anfangstemperatur $V_1$ der der Umgebung gleich, also, da die Temperatur von der letzteren an gerechnet wird, gleich Null ist, denn dann ergiebt sich aus der Bedingungsgleichung für das Maximum von $v_1$ zwischen $\lambda_1$ und $\lambda_2$ die Beziehung

$$\lambda_1 T e^{-\lambda_1 T} = \lambda_2 T e^{-\lambda_2 T},$$

deren linke Seite bekannt ist. Im Allgemeinen hat diese transcendente Gleichung, in welcher $\lambda_2 T$ als Unbekannte

anzusehen ist, mehrere Wurzeln, es ergiebt sich aber sofort, dafs sie aufser den beiden gleichen bekannten Wurzeln $\lambda_1 T$ und $\lambda_2 T$ keine besitzt. Denn schreiben wir sie in der Form

$$y = xe^{-x},$$

so zeigt sich leicht, dafs $y$ nur für zwei Werthe von $x$, nämlich $x = 0$ und $x = \infty$ verschwindet.

Durch fortgesetztes Probiren läfst sich aus der Gleichung mit Hülfe der Logarithmentafeln die zweite Wurzel $\lambda^2 T$ und daraus dann $\lambda_2$ selbst mit genügender Sicherheit bestimmen, wie ich diefs bei meinen Versuchen ausgeführt habe.

Es sind somit jetzt alle Gröfsen bekannt, um aus der erhaltenen Endgleichung eine der in $s$ oder $s_1$ auftretenden specifischen Wärmen berechnen zu können, wenn die übrigen bekannt sind. Es sind bei der Ableitung der Gleichung alle Fehlerquellen berücksichtigt, namentlich auch diejenige, die ihren Grund in der ungleichen Wärmevertheilung während der Dauer des Temperaturmaximums hat. Ihr Einflufs spricht sich in dem Werthe der Correctionsgröfse $\lambda_2$ aus, er ist um so geringer, je gröfser $\lambda_2$ ist, je mehr also der erhitzte Körper zerstückelt und seine Oberfläche vergröfsert ist. Diese Fehlerquelle ist bei den bisherigen Bestimmungen specifischer Wärmen gar nicht beachtet worden, obwohl ihr Einflufs auf das Resultat nicht unbedeutend ist, wenn gröfsere Stücke und noch dazu eines schlecht leitenden Körpers zur Untersuchung verwandt werden.

### 2. Beschreibung des Apparates.

Bei der Bestimmung spec. Wärmen ist eine der hauptsächlichsten und gleichzeitig am Schwierigsten zu lösende Aufgabe die, dem zu untersuchenden Körper in allen seinen Theilen eine gleiche und genau mefsbare, hohe Temperatur zu ertheilen. Mit Ausnahme von Prof. Neumann's Apparat hat bisjetzt keine der verschiedenen zu ähnlichen Beobachtungen benutzten Vorrichtungen diese Bedingung

vollständig erfüllt, ich glaube deshalb, dafs eine detaillirtere Beschreibung desselben, wie ich sie zu geben beabsichtige, nicht ohne Interesse seyn dürfte.

Die Einrichtung dieses Hauptapparates ist folgende. Ein fast cylindrischer abgestumpfter doppelter Kegelmantel *aa* Fig. 7 Taf II aus starkem Messingblech umschliefst einen ihm eingeschliffenen, ebenfalls abgestumpften drehbaren hohlen Kegel *bb*. Diesem letzteren ist von der Seite her ein fast kugelförmiges, offenes Messinggefäfs *c* so eingelöthet, dafs es tief in sein Inneres hineinragt, und in ihm eine nach aufsen offene Höhlung bildet, ohne dabei die der Oeffnung gegenüberliegende Wand zu berühren. In die Wand des kugelförmigen Gefäfses ist in der Richtung der Kegelaxe eine cylindrische, an beiden Seiten offene Röhre *dd* eingelöthet und von hier ab durch die kleinere Endfläche des Kegels hindurchgeführt, die von ihr um ein Gewisses überragt wird. Eine weitere Röhre *ee* umschliefst die erstere von dem äufseren Ende derselben an, wo sie beide mittelst eines schmalen Kreisringes an einander gelöthet sind, bis zu derselben Kegelendfläche hin und zwar so, dafs der Zwischenraum zwischen beiden eine Fortsetzung der Kegelhöhlung *b* bildet, die nach dem Einlöthen der beiden Röhren noch immer, sowohl nach aufsen, als nach der Höhlung des kugelförmigen Gefäfses *c* hin, abgeschlossen ist.

An der Stelle, an welcher die Mündung der Höhlung *c* den inneren Mantel des äufseren Doppelkegels berührt, ist durch die beiden Mantelflächen desselben eine Oeffnung *mm* gelegt, etwas gröfser als die der Höhlung, und in diese Oeffnung ein an beiden Seiten offener Messingcylinder von ihrer Höhe gelöthet, um hier nach wie vor den inneren Raum des Doppelkegels gegen aufsen abzuschliefsen. Durch diese Oeffnung *m* wird der zu untersuchende Körper in die Höhlung *c* um die Kugel eines Thermometers *ff* gelegt, das durch mehrere dicht schliefsende Körke in der inneren der beiden Röhren so befestigt ist, dafs seine Scale mit dem Siedepunkte von aufsen zu sehen ist. Der Zwischenraum

zwischen den Körken ist mit Baumwolle ausgefüllt. Nachdem der Körper eingefüllt ist, wird der innere Kegel gegen den äufseren um 180° gedreht und der Apparat, mit der Oeffnung der Höhlung *c* nach oben und mit der Oeffnung *m* nach unten, fest aufgestellt und darauf in den inneren Kegel, in der Richtung der Axe, durch eine Oeffnung, welche sich dem Thermometer gegenüber bei *g* befindet, der Dampf von siedendem Wasser geleitet. Diese Oeffnung *g* trägt nach aufsen einen conischen Ansatz, auf den die äufsere, feste Dampfröhre genau pafst, so dafs die Zuleitung des Dampfes durch eine Drehung des inneren Kegels um seine Axe nicht unterbrochen wird. Der Dampf umkreist die mit dem Körper gefüllte Höhlung *c* unten und an den Seiten vollständig, geht dann durch passend angebrachte Oeffnungen *hh* aus dem inneren Kegel in den äufseren hohlen Kegelmantel über, erwärmt von hier aus den Körper von oben bei *i* und entweicht schliefslich durch die Röhre *k* in die Luft. Die Oeffnungen *hh* sind in der Weise angebracht, dafs auch bei einer beliebigen Drehung des inneren Kegels die freie Dampfcirculation durch den ganzen Apparat nicht gehemmt wird, etwa in der Weise wie es Fig. 9 Taf. II zeigt.

Es ist Sorge dafür getragen, dafs der Dampf durch dazwischen gestrichenes Fett verhindert wird, längs der Berührungsfläche beider Kegel zu gelangen, und nie habe ich bei der Benutzung des Apparates bemerkt, selbst nicht bei Körpern, die, wie das wasserfreie schwefelsaure Kupferoxyd, so sehr leicht Wasser anziehen und sich damit erwärmen, dafs das Thermometer ein Durchdringen von Wasserdampf angezeigt hätte.

Wenn der Dampf des siedenden Wassers, im Allgemeinen nur 45 bis 60 Minuten, in der beschriebenen Weise durch den Apparat geleitet war, zeigte das Thermometer eine constante Temperatur an, welche der, dem jedesmaligen Barometerstande entsprechenden Siedetemperatur des Wassers ganz gleich war. Ich habe mich hiervon mehrfach überzeugt, indem ich den Siedepunkt des Thermome-

ters in freiem Wasserdampfe im Innern eines geschlossenen Gefäfses unter Berücksichtigung des Barometerstandes bestimmte, darauf dasselbe Thermometer in den Apparat brachte, einen Körper in den Apparat füllte und wie oben den Stand des Quecksilberfadens und des Barometers beobachtete: ich fand dann immer eine vollständige Uebereinstimmung.

Sobald die constante Temperatur des Dampfes von siedendem Wasser dem Körper mitgetheilt und unter Berücksichtigung des Barometerstandes genau beobachtet ist, wird bei dem Versuche der innere Kegel mittelst des Griffes *l* um seine eigene Axe um 180° gedreht. Die bisher nach oben gerichtete Oeffnung der Höhlung *c* wird dadurch nach unten gekehrt und der erhitzte Körper fällt durch die Oeffnung *m* in die während der Drehung darunter gesetzte Mischflüssigkeit. Der äufsere Kegel ist bei *n* Fig. 8 Taf. II an einem Brette so befestigt, dafs er bei dieser Operation seine Lage nicht verändern kann; ebenso wenig wird durch die Drehung, die über diefs nur einen Moment dauert, der Dampfstrom unterbrochen, so dafs eine Temperaturänderung des Körpers in dieser Zeit nicht eintreten kann. Wenn eine solche überhaupt stattfinden könnte, so wäre das nur auf dem Wege aus dem Apparate durch die Luft in die Flüssigkeit möglich, aber was diesen Punkt betrifft, so hat Neumann bereits früher durch die umfassendsten Versuche nachgewiesen, dafs ein solcher Verlust, selbst bei einem viel gröfseren Abstande zwischen Flüssigkeit und Apparat, wie er bei meinen Versuchen vorkam [1]) nicht hat beobachtet werden können. Ich bin also vollkommen berechtigt anzunehmen, dafs die erhitzten Körper genau mit derselben Temperatur in die Flüssigkeit gefallen sind, welche das Thermometer des Apparates jedesmal angezeigt hat.

Die Einrichtung des beschriebenen Apparates, den ich im Folgenden einfach als Dampfapparat bezeichnen werde, wird durch die beigefügten Durchschnittszeichnungen in $\frac{1}{2}$ der wirklichen Gröfse klarer hervortreten. Fig. 7 Taf. II

1) Bei meinen Versuchen betrug der Abstand drei bis vier Zoll.

ist der durch die Kegelaxe gelegte verticale Durchschnitt des Apparates in der Stellung, welche er während des Durchströmens des Dampfes einnimmt, Fig. 8 und Fig. 9 Taf. II sind Querdurchschnitte senkrecht zur Axe, der erstere durch die Thermometerkugel der letztere durch die Oeffnungen *hh*, welche in der Nähe der gröfseren Endfläche des Kegels liegen.

Während der Versuche ist der äufsere Kegelmantel bei *n* an ein starkes Brett angeschraubt und mittelst desselben der ganze Apparat auf einem feststehenden, vierkantigen Stabe verschiebbar, er kann daran mit Hülfe einer starken Schraube in jeder Höhe über dem breiten Brette festgestellt werden, in welchen der Stab befestigt ist. Wenn der Apparat mit dem zuvor gewogenen Körper gefüllt werden soll, so wird er sammt dem verschiebbaren Brette von dem Stabe gezogen, umgedreht und in dieser Stellung der Körper durch die Oeffnung *m* in die Höhlung *c* gebracht. Ist diefs geschehen; so wird der äufsere Kegel mit der gröfsten Vorsicht um den inneren um 180° gedreht und der ganze Apparat sodann in die beschriebene Stellung gebracht. Es kommt zuweilen vor, dafs nicht alle Theile des erhitzten Körpers in die Flüssigkeit hineinfallen, sich z. B. am Thermometer kleinere Stücke festklemmen. Diese Theile lassen sich immer ohne den geringsten Verlust nachträglich aus der Höhlung entfernen. Bei meinen Versuchen sind sie in allen vorgekommenen Fällen genau gewogen und ihr Gewicht ist dann jedesmal von dem Gewichte der eingefüllten Menge abgezogen.

Ich wende mich jetzt zu der Beschreibung des Mischgefäfses. Es ist dasselbe in Würfelform aus sehr dünnem Messingblech gefertigt und fafst ungefähr 300 Grm. Wasser. An der einen Seite ist es mit einer cylindrischen Ausbiegung versehen, wie es Fig. 10 Taf. II zeigt, die zur Aufnahme eines Thermometers dient: in dem Falze, zu welchem die oberen Theile der Seitenwände umgebogen sind, kann ein quadratisches Stück von demselben Messingbleche verschoben werden und den Abschlufs des Gefäfses nach,

aufsen bewirken. Während des Vesuches befindet das Gefäfs sich in einem gröfseren hölzernen Kasten, dessen Basis ein Quadrat von etwa 10 Zoll Seitenlänge ist, es steht darin auf scharf zugeschnittenen Korkkanten an einer, durch andere Korkstücke bestimmt vorgeschriebenen Stelle. Um es in dieser Stellung ganz festzustellen, wird über den Holzkasten ein Brett als Deckel gelegt und durch Holzflöcke, welche den Seitenwänden des Kastens eingefügt sind, in dieser Lage festgehalten. In der Mitte hat dasselbe eine Oeffnung, in die der obere Theil des Mischgefäfses genau pafst und wird von diesem eben so viel übrragt, dafs der Messingdeckel in dieser Lage darüber geschoben werden kann.

An einer seitlich am Holzkasten angebrachten verticalen Holzleiste ist nun ferner das am unteren Theile doppelt knieförmig gebogene Thermometer, mit dem die Temperatur der Flüssigkeit im Mischgefäfse beobachtet wird, mit seiner metallenen Scale so befestigt, dafs das Quecksilbergefäfs genau durch die seitliche Ausbiegung des Messingkastens in die Flüssigkeit taucht und von dieser vollkommen benetzt wird.

In dem Mischgefäfse befindet sich weiter ein fein durchlöchertes Sieb aus demselben Messingbleche in Form eines oben offenen Kastens, von etwas kleinerer quadratischer Grundfläche als die des Mischgefäfses ist, und mit einem Rande, der vollkommen die zu jedem Versuche nöthige Menge der Körper fassen kann. Von den vier Ecken dieses Siebes gehen vier feine Messingdrähte in den Seitenkanten des Gefäfses hinauf, oben durch feine Löcher in der Deckelschiebung, ohne jedoch den Deckel selbst zu berühren, und sind aufserhalb des Gefäfses zu einer Schleife umgebogen. Die Schleifen dienen dazu, um jeden Draht an einen von den vier Fäden zu hängen, die an die Ecken eines quadratischen Rahmens aus Holzleistchen von dem Querschnitte des Gefäfses so befestigt sind, dafs durch ein Heben und Senken dieses Rahmens das Sieb mit dem Kör-

per gehoben und gesenkt und so die gewünschte Temperaturausgleichung zwischen Flüssigkeit und Körper sehr leicht hergestellt werden kann.

Das bei meinen Versuchen zu den Temperaturbeobachtungen angewandte knieförmige Thermometer enthielt nur sehr wenig Quecksilber in seinem etwa 40mm langen und kaum 3 bis 4mm dicken Gefäfse und war dabei so empfindlich, dafs durch directe Ablesung noch etwa der 50. Theil eines Grades C. beobachtet werden konnte. Es entsprach 1° C. etwa 5 Th. der willkührlichen Scale, deren jeder eine Länge von 1mm hatte, es konnte also ein Zehntel einer solchen Abtheilung oder ein Funfzigstel von 1° C. mit Sicherheit beobachtet werden. Die durch eine sorgfältige Kalibration zwischen den Abtheilungen der willkührlichen Scale und Graden Celsius erhaltene Relation ist die folgende:

$$s = 4{,}9606 \,.\, C + 38{,}35.$$

Es bedeutet darin $C$ die den Theilstrichen $s$ der Scale entsprechende Anzahl Grade der hundertheiligen Scale. Wenn es auch für die Bestimmung des Hauptgliedes der spec. Wärme gleichgültig ist, welchem Temperaturwerthe eine Abtheilung des Thermometers entspricht, da in dem Ausdrucke nur das Verhältnifs der Temperaturen auftritt, so ist es doch bei Berücksichtigung der Correctionsglieder nöthig, die an einem gewöhnlichen Thermometer in Graden C. beobachtete Lufttemperatur in den Einheiten des knieförmigen Thermometers ausdrücken zu können, um dann aus sämmtlichen Versuchen diejenigen auszuwählen, bei denen die Anfangstemperatur der Flüssigkeit und die der Umgebung einander nahezu gleich sind und somit die Bedingung zur Bestimmung der Gröfse $\lambda_2$ erfüllt ist.

Um das Thermometer während des Versuches in einer festen Lage zu erhalten, wird um den oberen Theil der Holzleiste und der Metallscale ein mit einer Schraube versehener Messingring gelegt und mit dessen Hülfe beide Theile an einander geprefst.

### 3. Ausführung der Beobachtungen.

Die Beobachtung der Temperatur des Mischgefäfses nimmt ihren Anfang, sobald das Thermometer des Dampfapparates die dem augenblicklichen Barometerstande entsprechende constante Temperatur angenommen hat [1]). Die Beobachtung der Temperatur findet etwa alle zwei Minuten Statt, unter fortwährendem Heben und Senken des Siebes. Sofort nach der letzten Beobachtung wird mit dem Umrühren der Flüssigkeit eingehalten, der Deckel des Mischgefäfses fast ganz zurückgezogen und der Holzkasten mit demselben, mittelst eines an der Thermometerseite angebrachten Griffes aufgehoben und in einem Geleise unter den Dampfapparat in eine solche Lage gebracht, dafs die Oeffnung desselben sich gerade über der Flüssigkeit befindet. In demselben Augenblicke, in welchem der Kasten an seiner Stelle anlangt, wird mit der linken Hand an den inzwischen ergriffenen Griffe $l$ der innere Theil des Dampfapparates um seine eigene Axe rasch gedreht, so dafs der erhitzte Körper in die Flüssigkeit niederfällt. Unmmittelbar darauf wird der Holzkasten auf seinen Platz vor dem Beobachter zurückgeführt, und daselbst unter gleichzeitig beginnendem Umrühren zunächst der Deckel über die Flüssigkeit geschoben und dann an dem Thermometer mittelst einer Lupe die Maximumstemperatur, an einer Sekundenuhr der Eintritt und die Dauer derselben beobachtet.

Wenn vor dem Einwerfen des Körpers in die Flüssigkeit die letzte Temperaturbeobachtung mit der vollen Minute geschlossen ist, wird die Zeit beobachtet, welche bis zum Einwerfen des Körpers verfliefst, um nach den vorbergemachten Beobachtungen über die Aenderung der Temperatur $v_1$ der Flüssigkeit genau die Anfangstemperatur $V_1$

1) Die Correction dieser Siedetemperatur mit Hülfe des Barometers findet in der Weise statt, dafs die Anzahl der Millimeter unter oder über dem mittleren Stande von $760^{mm}$ mit 0,0390, der Siedepunktänderung in Graden C. bei einer Aenderung des Barometerstandes um $1^{mm}$, multiplicirt und das Product von $100^{\circ}$ bezüglich abgezogen oder hinzugezählt wird.

angeben zu können. Ich bemerke, dafs diese Zeit selten mehr als 3 bis 4 Sekunden und die ganze Zeit vom Aufheben des Mischgefäfses bis zu dessen Zurückführung an seinen Platz selten mehr als 5 Sekunden betragen hat. Ich hebe diefs hervor, um damit die Annahme zu rechtfertigen, dafs die Flüssigkeit während ihres Aufenthaltes unter dem Dampfapparate von diesem keine Wärme habe aufnehmen können.

Das Ablesen der Thermometerstände hatte keine Schwierigkeit, selbst nicht beim Maximum, da diefs immer einige Zeit andauerte. Die bis auf den zehnten Theil eines Scalenstriches verbürgte Genauigkeit der Ablesung wird bei Beobachtung mit der Lupe dadurch erreicht, dafs man den der Quecksilberkuppe nächsten Theilstrich der Scale, so weit er seitwärts von der Glasröhre des Thermometers sichtbar ist, mit seinem durscheinenden mittleren Theile eine gerade Linie bilden läfst, man ist dann sicher, das Auge mit diesem Striche und da der Abstand zweier Striche nur $1^{mm}$ beträgt, bei einer Entfernung des Auges von dem Thermometer von mindestens $150^{mm}$ auch mit der Quecksilberkuppe in derselben horizontalen Ebene zu halten.

Wie bei der Ableitung der Gleichung schon angedeutet ist, kommt es darauf an, die Zeit $T$ zu kennen, nach welcher das wirkliche Maximum eintritt, es kann diese Zeit aber ebenso wenig wie das wirkliche Maximum beobachtet werden, welches man beobachten würde wenn keine Ausstrahlung von Wärme stattfände, man kann nur die Temperatur beobachten, welche stattfindet wenn der heifse Körper der Flüssigkeit ebenso viel Wärme giebt, als sie nach aufsen verliert und die Zeit ihres Eintrittes. Es fehlt hier jeder Anhalt wie man diese Zeit corrigiren soll, bedenkt man aber, dafs die von $T$ herrührende Correction selbst nur eine sehr kleine ist, so wird man zugeben, dafs die Annahme, $T$ liege zwischen der beobachteten Anfangs- und Endzeit des Maximums, die bei meinen Versuchen nie mehr als 20 Sekunden aus einander lagen, sehr nahe mit

der Wirklichkeit übereinstimmen mufs. In dieser Weise habe ich deshalb in allen meinen Versuchen den Werth von $T$ bestimmt.

Die Beobachtung der Temperaturabnahme nach dem Aufhören des Maximums hat die Mittel zur Berechnung von $\lambda_1$ und in den Fällen, in welchen $V_1$ der Temperatur der Umgebung gleich war, auch von $\lambda_2$ geliefert. Es wurde zu diesem Zwecke unter fortwährendem Umrühren in gleichen Zeitintervallen, meistens alle zwei Minuten, die Temperatur der Flüssigkeit beobachtet und mit diesen Beobachtungen so lange fortgefahren, bis das Verhältnifs zweier aufeinander folgender Temperaturen oder die Differenz ihrer Logarithmen sich constant erwies. Diese Differenz, das logarithmische Decrement, giebt das Mittel zur Berechnung der Gröfsen $\lambda_1$ und $\lambda_2$; ich habe sie auf die Minute als die eingeführte Zeiteinheit bezogen.

Als Mischflüssigkeit habe ich mich bei meinen Versuchen des gereinigten französischen Terpentinöls bedient. In demselben sind die untersuchten Salze völlig unlöslich, aufserdem empfiehlt es sich dadurch, dafs seine spec. Wärme mit der Zeit keine Veränderung erleidet, wie ich diefs durch die Mittheilung einer grofsen Zahl von Versuchen, die zum Theil in grofsen Zeitintervallen angestellt sind, nachweisen werde. Die spec. Wärme des Terpentinöles habe ich in der Weise bestimmt, dafs ich die Temperaturerhöhung beobachtete, welche in einer gewogenen Menge dieser Flüssigkeit durch ein bekanntes Gewicht neuer Kupferpfennige [1]) von vorher bestimmter spec. Wärme und genau gemessener hoher Temperatur hervorgebracht wurde. Zur Berechnung der spec. Wärme des Terpentinöls habe ich dieselbe oben abgeleitete Gleichung benutzt, nachdem sie für das in der Summe der Producte $s_1$ enthaltene Glied $g_1\, c_1$ des Terpentinöles aufgelöst war.

Die spec. Wärme der wasserfreien schwefelsauren Salze

1) Es ist gerade gemünztes Kupfer gewählt, weil dieses bei dem hohen Drucke, dem es ausgesetzt gewesen ist, eine gleichmäfsige Beschaffenheit neben gleichzeitiger Reinheit und geringer Dicke besitzt.

und der mit 1 Aeq. Wasser ist bestimmt, indem diese Salze ebenso, wie bei der Bestimmung der spec. Wärme des Terpentinöls das Kupfer, in dem beschriebenen Apparate auf die Temperatur des Dampfes von siedendem Wasser erhitzt, dann in die Flüssigkeit geworfen und die Temperaturen beobachtet wurden.

Alle Salze mit mehr als 1 Aeq. Wasser konnten in dieser Weise den Versuchen nicht unterworfen werden, weil sie schon unter der Temperatur des siedenden Wassers einen Theil ihres Wassergehaltes verlieren. Der Dampf einer anderen Flüssigkeit von entsprechend niedriger und constanter Siedetemperatur konnte statt des Wasserdampfes auch nicht angewandt werden, weil die wenigen bekannten Flüssigkeiten dieser Art sämmtlich die störende Eigenschaft besitzen, das Fett zwischen dem inneren und äufseren Kegel des Apparates zu lösen, und so den genauen Abschlufs des erhitzten Körpers aufzuheben. Es mufste deshalb die spec. Wärme dieser Salze nach einer etwas veränderten Methode bestimmt werden, die zwar eine geringere Genauigkeit besitzt, aber doch eine angenäherte Bestimmung der spec. Wärme in den meisten Fällen, in einzelnen sogar eine fast ebenso scharfe als die erstere Methode zuläfst.

Die Abänderung der beschriebenen Methode besteht darin, dafs das auf seine spec. Wärme zu untersuchende Salz schon vor dem Versuche auf das Sieb des Mischgefäfses in das Terpentinöl gelegt und dafs dann ebenso wie bei der Bestimmung der spec. Wärme des Terpentinöles die Temperaturerhöhung beobachtet wird, welche eine gewogene Menge erhitzten Kupfers in der Flüssigkeit hervorbringt.

Bei dieser Anordnung des Versuches wird die spec. Wärme des untersuchten Salzes mit einer um so gröfseren Genauigkeit bestimmt werden können, je gröfser der Einflufs desselben auf die Vertheilung der Temperatur in der Flüssigkeit ist. Um diesen Einflufs möglichst grofs zu machen, mufs das Product aus der beobachteten Temperaturerhöhung, dem Gewichte und der spec. Wärme des Sal-

zes möglichst grofs seyn, also eine hinreichend grofse Menge Salz angewandt werden. Diese Vermehrung der Salzmenge darf indefs auch eine bestimmte Gränze nicht überschreiten, die dadurch näher bezeichnet ist, dafs die Beweglichkeit der Flüssigkeit, somit die Temperaturausgleichung nicht gestört werden darf, und dafs die Temperaturerhöhung hinreichend grofs bleiben mufs, um noch bis auf einen hinreichend kleinen Bruchtheil ihres Werthes genau beobachtet werden zu können.

Bei der Bestimmung der erforderlichen Gröfse des genannten Productes ist in der Weise verfahren, dafs zunächst mit einer beliebig gewählten Menge des Salzes dessen spec. Wärme annähernd bestimmt und darauf eine Temperaturerhöhung festgesetzt wurde, welche bei den entscheidenden Versuchen stattfinden sollte und die Bedingung erfüllte, dafs der beim Ablesen derselben mögliche Fehler nur ein sehr kleiner Theil von ihrem ganzen Werthe war. Darauf wurde weiter festgesetzt, dafs das Product einen Einflufs, also einen Werth haben sollte, der von dem entsprechenden Producte des Terpentinöles oder des Kupfers nicht allzusehr abwiche, und so das Gewicht des Salzes bestimmt, das für den günstigsten Fall angewendet werden mufste. Es war mir jedoch nicht immer möglich eine so grofse Menge Salz anzuwenden, wie sie durch die Rechnung bestimmt war und deshalb hat bei diesen Classen der wasserhaltigen Salze nicht der Grad von Genauigkeit erreicht werden können, wie bei den wasserfreien Salzen und denen mit 1 Aeq. Wasser.

Bei der Anwendung dieser Methode habe ich die damit verbundene geringere Zuverläfslichkeit der Resultate dadurch zu verbessern gesucht, dafs ich auch hier mit jedem Salze eine gröfsere Anzahl von Beobachtungen angestellt habe. In einzelnen Fällen, in denen mir nur eine geringe Menge Salz zur Verfügung stand, habe ich die Zahl der Beobachtungen dadurch zu vermehren gesucht, dafs ich das einmal gewogene Salz für alle Versuche in dem Mischgefäfse auf dem Siebe liegen liefs und nur das Kupfer mit

dem erwärmten Terpentinöle entfernte. Letzteres wurde dann auf einer Waage, auf welcher die zuerst angewandte Menge desselben mit dem Gefäfse und dem Salze tarirt war, durch eine gleiche Menge kühleres ersetzt.

#### 4. Die Beobachtungsresultate.

Es treten in der abgeleiteten Gleichung in der mit $s_1$ bezeichneten Gröfse die für ganze Reihen von Versuchen constanten Producte aus Gewicht und spec. Wärme der verschiedenen Bestandtheile des Mischgefäfses auf, nämlich der Messingtheile des Gefäfses und des Siebes, des Glases und des Quecksilbers des Thermometers, soweit dieses in die Flüssigkeit taucht. Der Einflufs dieser Gröfsen auf das Resultat ist immer nur ein sehr geringer, ich habe sie deshalb mit den von Regnault ermittelten spec. Wärmen des Messings 0,0939, des Quecksilbers 0,0332 und des Glases 0,1977 berechnet und für die fünf verschiedenen Werthe dieser Producte, deren Gröfse von dem gerade angewandten Siebe abhing, die Zahlen 7,147, 7,923, 8,451, 7,727 und 7,690 gefunden.

Im Vorhergehenden habe ich erwähnt, dafs zur Bestimmung der spec. Wärme des Terpentinöles und des Salzes mit mehr als 1 Aeq. Wasser eine Anzahl Kupferpfennige im Dampfapparate erhitzt und damit die Temperaturänderung der Flüssigkeit bewirkt sey. Diese Pfennige waren in zwei Partien von je 40 Stück getheilt, deren Gewicht bezüglich 60,00 und 60,25 Grm. betrug und bei jedesmaligem sorgfältigen Reinigen nach jedem Versuche während der ganzen Dauer der Beobachtungen constant blieb. Die besonders ermittelte spec. Wärme dieses Kupfers hat sich zu 0,0951 ergeben, so dafs die in die Rechnung eingehenden Producte aus spec. Wärme und Gewicht 5,706 und bezüglich 5,730 sind.

Zum Zweck der bequemeren Berechnung der Beobachtungen habe ich an der Gleichung

$$s = \frac{V_m e^{\lambda_1 T} - V_1\left(1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)}{V - V_m e^{\lambda_1 T} - V_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2}} s_1$$

noch einige Vereinfachungen eintreten lassen, die durch die Werthe der einzelnen Gröfsen, wie sie bei meinen Versuchen aufgetreten sind, gerechtfertigt werden können. Diese Vereinfachungen sind dadurch möglich geworden, dafs die Gröfsen $T$, $\lambda_1$ und $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$, von denen die Correctionen abhängen, sich sehr klein ergeben haben. Zunächst ist mit Rücksicht hierauf $1 + \lambda_1 T$ statt $e^{\lambda_1 T}$ geschrieben, dann ist ferner das Glied $V_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ vollständig vernachlässigt, da aufser $\frac{\lambda_1}{\lambda_1}$ auch $V_1$, das ebenso wie jede in der Gleichung auftretende Temperatur von der der Umgebung an gezählt werden mufs, in allen Versuchen so klein war, dafs ihr Einflufs nur in der vierten Decimale des Endwerthes bemerklich war, der selbst in den günstigsten Fällen höchstens bis auf die zweite Decimale verbürgt ist. Was die Berechnung der Constanten $\lambda_2$ betrifft, so habe ich dieselbe mit dem Mittelwerthe von $\lambda_1$, wie er sich aus sämmtlichen Beobachtungen einer Versuchsreihe ergab, aus denjenigen Beobachtungen derselben Reihe bestimmt, bei denen die Anfangstemperatur der Flüssigkeit der der Umgebung gleich oder doch nahezu gleich war und habe das Mittel der auf diese Weise erhaltenen Werthe von $\lambda_2$ in die Rechnung eingeführt.

Unter Berücksichtigung der erwähnten Annäherungen nimmt die obige Gleichung die einfachere Form an:

$$s = \frac{V_m - V_1 + V_m \lambda_1 T}{V - V_m - V_m \lambda_1 T} s_1,$$

in der sie direct zur Berechnung der Beobachtungen benutzt ist. Dabei hat sich gezeigt, dafs sehr häufig auch die eine übrig gebliebene Correctionsgröfse $V_m \lambda_1 T$ ohne Einflufs gewesen ist.

Es sind die Gröfsen $s$ und $s_1$ mit Rücksicht auf ihre Bedeutung in den verschiedenen Versuchen noch etwas

näher zu bestimmen. Es ist $s$ das Product aus Gewicht und spec. Wärme des gerade im Dampfapparate erhitzten Körpers, also des Kupfers, wenn die spec. Wärme des Terpentinöles oder der Salze mit mehr als einem Aeq. Wasser bestimmt wird, sonst der Salze selbst; $s_1$ ist die Summe der entsprechenden Producte für die schon vor dem Eintauchen des erhitzten Körpers im Mischgefäfse befindlichen Substanzen, also für das Terpentinöl, die Theile des Mischgefäfses und das Salz, wenn die spec. Wärme eines Salzes mit mehr als einem Aeq. Wasser bestimmt wird, sonst für das Terpentinöl und die zum Mischgefäfse gehörigen Theile.

Bei der Bestimmung der spec. Wärme der Salze ist für die spec. Wärme des Terpentinöles der Werth eingeführt, der sich als Mittel aus sämmtlichen Beobachtungen dieser Gröfse ergeben hat.

In dem Vorstehenden glaube ich das mitgetheilt zu haben, was zum Verständnifs der Art und Weise nöthig ist, wie aus den beobachteten Zahlen die spec. Wärmen der verschiedenen Substanzen berechnet sind, ich lasse daher in den folgenden Tabellen die Beobachtungsdata und die daraus berechneten spec. Wärmen folgen. In den Tabellen haben die benutzten Buchstaben folgende Bedeutung:

$O$ das Gewicht des Terpentinöles,
$K$ das Gewicht des Kupfers,
$S$ das Gewicht des Salzes,
$W$ der Wasserwerth der festen Theile des Mischgefäfses,
$U$ die Temperatur der Luft,
$V_1$ die Anfangstemperatur der Flüssigkeit,
$V$ die Temperatur des erhitzten Körpers,
$V_m$ die Maximumstemperatur der Flüssigkeit[1]),
$d$ das bei der Abkühlung in der Minute als Zeiteinheit beobachtete logarithmische Decrement,

1) Sämmliche Temperaturen sind in den Einheiten des benutzten Thermometers ausgedrückt, für welches oben die Beziehung zwischen den Scalentheilen und Graden C. angegeben ist.

$T$ die Zeit vom Hineinwerfen des Körpers in die Flüssigkeit bis zum wahrscheinlichen Eintritt des wirklichen Temperaturmaximums,

$\lambda_2$ die zweite der beiden Constanten, von denen die Correctionen abhängen,

$c$ die beobachtete spec. Wärme des untersuchten Salzes.

Die Salze, welche entweder krystallisirt oder nicht krystallisirt in fester Form erhalten werden konnten, sind in sämmtlichen Fällen in höchstens erbsengrofsen, im Allgemeinen in etwas kleineren Stücken untersucht worden.

## Französisches Terpentinöl.

Spec. Gew. bei 16° C. 0,8695.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | 1 Minute $d$ | Minuten $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 205,45 | 7,147 | 60,25 | | 139,6 | 138,75 | 160,70 | 533,83 | 0,0007 | 0,81 | 11,13 | 0,439 |
| 2 | 205,32 | » | 60,00 | | 149,1 | 145,56 | 167,19 | 534,39 | 0,0006 | 0,91 | | 0,437 |
| 3 | 205,32 | » | 60,25 | | 151,1 | 150,56 | 172,03 | 534,63 | 0,0005 | 0,65 | 14,21 | 0,436 |
| 4 | 205,47 | » | 60,00 | | 133,7 | 138,50 | 160,30 | 532,44 | 0,0008 | 0,75 | | 0,438 |
| 5 | 205,17 | 7,923 | » | | 150,7 | 150,71 | 171,88 | 535,02 | 0,0006 | 0,75 | 12,11 | 0,438 |
| 6 | 205,16 | » | » | | 155,9 | 151,95 | 173,03 | 535,11 | 0,0006 | 0,76 | | 0,439 |
| 7 | 205,07 | » | 60,25 | | 153,7 | 151,66 | 172,68 | 534,91 | 0,0005 | 0,75 | | 0,442 |
| 8 | 205,38 | » | 60,00 | | 143,1 | 142,56 | 164,39 | 533,58 | 0,0007 | 0,80 | 11,26 | 0,430 |
| 9 | 204,63 | 8,451 | » | | 161,0 | 173,99 | 193,27 | 532,60 | 0,0007 | 0,75 | | 0,449 |
| 10 | 204,85 | 7,923 | 60,25 | | 161,5 | 161,50 | 181,80 | 532,60 | 0,0005 | 0,83 | 10,80 | 0,444 |
| 11 | 205,48 | » | 60,00 | | 138,6 | 138,55 | 160,05 | 533,77 | 0,0006 | 0,77 | 11,22 | 0,443 |
| 12 | 205,66 | » | » | | 138,0 | 133,08 | 154,98 | 534,03 | 0,0005 | 0,71 | | 0,441 |
| 13 | 205,32 | » | » | | 140,5 | 143,31 | 164,69 | 533,64 | 0,0007 | 0,71 | | 0,442 |
| 14 | 205,17 | » | » | | 147,0 | 146,29 | 167,29 | 533,09 | 0,0004 | 0,71 | 12,83 | 0,445 |
| 15 | 205,64 | » | » | | 141,0 | 131,97 | 153,94 | 533,32 | 0,0005 | 0,75 | | 0,440 |
| 16 | 205,89 | » | » | | 121,8 | 123,23 | 145,76 | 533,37 | 0,0007 | 0,60 | | 0,436 |
| 17 | 205,84 | 8,451 | » | | 122,5 | 127,25 | 149,36 | 534,09 | 0,0006 | 0,70 | 13,08 | 0,441 |
| 18 | 205,48 | 7,923 | » | | 137,0 | 137,45 | 159,16 | 533,67 | 0,0006 | 0,80 | 11,26 | 0,440 |
| 19 | 205,82 | » | » | | 121,3 | 124,63 | 147,26 | 534,70 | 0,0009 | 0,67 | | 0,435 |
| 20 | 205,39 | » | 60,25 | | 134,0 | 140,71 | 162,20 | 534,32 | 0,0009 | 0,67 | | 0,444 |
| 21 | 206,43 | » | 60,25 | | 120,5 | 114,35 | 137,45 | 535,71 | 0,0003 | 0,83 | | 0,440 |
| 22 | 206,15 | » | 60,00 | | 121,3 | 120,55 | 143,16 | 533,24 | 0,0003 | 0,79 | 11,42 | 0,440 |
| Mittelwerthe: | | | | | | | | Mittel: | 0,0006 | | 11,93 | 0,440 |

**Wasserfreie schwefelsaure Magnesia.**

Feste Stücke. Spec. Gewicht bei 16° C. 2,675.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 205,52 | 8,451 | | 17,84 | 141,5 | 140,72 | 155,88 | 533,61 | 0,0003 | 1,11 | 8,89 | 0,223 |
| 2 | 205,43 | » | | 18,79 | 144,5 | 141,51 | 157,62 | 533,61 | 0,0002 | 0,95 | | 0,226 |
| 3 | 205,32 | » | | 16,59 | 152,6 | 150,80 | 164,69 | 533,43 | 0,0002 | 0,83 | 12,97 | 0,224 |
| 4 | 205,14 | » | | 14,36 | 150,0 | 150,66 | 162,85 | 533,43 | 0,0002 | 1,10 | 11,96 | 0,226 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0002 | | 11,27 | 0,225 |

**Wasserfreies schwefelsaures Zinkoxyd.**

Grobpulverig. Spec. Gew. bei 16° C. 3,435.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 205,01 | 8,451 | | 14,88 | 152,3 | 154,46 | 164,24 | 532,39 | 0,0002 | 1,0 | | 0,176 |
| 2 | 205,43 | 7,923 | | 17,76 | 141,0 | 140,36 | 152,55 | 533,67 | 0,0003 | 1,0 | 9,53 | 0,177 |
| 3 | 205,35 | » | | 20,28 | 139,8 | 143,26 | 156,82 | 533,67 | 0,0005 | 1,0 | | 0,175 |
| 4 | 205,84 | » | | 16,04 | 124,4 | 125,63 | 136,94 | 534,70 | 0,0001 | 0,75 | 13,13 | 0,175 |
| 5 | 205,75 | » | | 18,99 | 125,6 | 129,01 | 142,01 | » | 0,0003 | 0,91 | | 0,172 |
| 6. | 205,68 | » | | 17,59 | 126,2 | 131,52 | 143,56 | » | 0,0004 | 0,91 | | 0,172 |
| 7 | 205,97 | 8,451 | | 25,15 | 122,9 | 122,26 | 139,40 | 535,52 | 0,0004 | 1,10 | 9,70 | 0,171 |
| 8 | 205,57 | 7,923 | | 15,36 | 126,3 | 126,89 | 137,85 | » | 0,0002 | 0,89 | 10,86 | 0,177 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0003 | | 11,06 | 0,174 |

**Wasserfreies schwefelsaures Manganoxydul.**

Feste Stücke. Spec. Gew. bei 16° C. 3,192.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 204,89 | 7,923 | | 15,20 | 158,3 | 159,80 | 170,08 | 535,24 | 0,0002 | 1,16 | | 0,180 |
| 2 | 204,94 | » | | 13,76 | 160,0 | 158,05 | 167,39 | » | 2 | 1,00 | | 0,181 |
| 3 | 204,96 | 8,451 | | 16,88 | 142,0 | 150,21 | 161,85 | 532,49 | 5 | 0,87 | | 0,184 |
| 4 | 205,19 | » | | 14,70 | 142,0 | 148,89 | 159,05 | » | 3 | 0,75 | | 0,183 |
| 5 | 205,61 | » | | 13,33 | 134,0 | 134,36 | 143,86 | 532,53 | 2 | 0,80 | 12,26 | 0,182 |
| 6 | 205,70 | 7,923 | | 14,64 | 127,1 | 126,01 | 136,89 | 535,66 | 3 | 0,90 | 10,88 | 0,184 |
| 7 | 205,77 | » | | 18,98 | 129,2 | 127,97 | 141,76 | 534,00 | 3 | 0,75 | | 0,183 |
| 8 | 206,22 | » | | 19,66 | 114,6 | 115,08 | 129,96 | 535,72 | 3 | 0,80 | 12,26 | 0,184 |
| 9 | 206.15 | » | | 22,13 | 119,0 | 119,03 | 135,44 | » | 3 | 0,80 | 12,26 | 0,183 |
| 10 | 206,31 | » | | 25,15 | 111,9 | 113,35 | 131.87 | 534,70 | 5 | 0,75 | | 0.181 |
| 11 | 206,31 | » | | 20,81 | 112,4 | 112,61 | 128,05 | » | 4 | 0,83 | 11,73 | 0,180 |
| 12 | 206,65 | 8,451 | | 27,45 | 112,9 | 105,59 | 125,58 | 535,71 | 4 | 1,08 | | 0,181 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0003 | | 11,27 | 0,182 |

**Wasserfreies schwefelsaures Kupferoxyd.**

Feste Stücke. Spec. Gew. bei 16° C. 3,527.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 205,23 | 8,451 | | 27,00 | 145.8 | 149,33 | 168,09 | 532,55 | 0,0005 | 1,41 | | 0,189 |
| 2 | 205,53 | » | | 26,98 | 136,7 | 136.92 | 155,63 | 534,50 | 4 | 0,83 | 11,53 | 0,181 |
| 3 | 205,46 | » | | 25,21 | 139,2 | 139,24 | 156,78 | » | 3 | 1,00 | 9,36 | 0,183 |
| 4 | 205,46 | 7,923 | | 22,00 | 140,5 | 141,79 | 157,33 | » | 2 | 1,00 | 9,36 | 0,184 |
| 5 | 205,73 | 8,451 | | 25,08 | 134,9 | 134,86 | 152,65 | 533,61 | 5 | 1,00 | 9,36 | 9,184 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0004 | | 9,90 | 0,184 |

**Wasserfreies schwefelsaures Nickeloxydul.**

Feste Stücke. Spec. Gew. bei 16° C. 3,643

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 206,98 | 8,451 | | 7,90 | 102,6 | 110,15 | 117,07 | 534,32 | 0,0001 | 1,15 | | 0,209 |
| 2 | 206,90 | » | | 8,28 | 111,6 | 109,89 | 116,63 | » | 1 | 1,00 | 10,75 | 0,223 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0001 | | | 0,216 |

**Schwefelsaure Magnesia mit 1 Aeq. Wasser.**

Grobpulverig. Spec. Gew. bei 16° C. 2,281

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 205,03 | 8,451 | | 16,73 | 150,7 | 153,19 | 169,63 | 533,09 | 0,0003 | 0,83 | | 0,267 |
| 2 | 205,57 | » | | 22,21 | 135,0 | 135,09 | 157,27 | 535,40 | 6 | 1,00 | 12,03 | 0,262 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0004 | | | 0,265 |

**Schwefelsaures Zinkoxyd mit 1 Aeq Wasser.**

Feste Stücke. Spec. Gew. bei 16° C. 3,215.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 205,41 | 7,923 | | 20,98 | 141,9 | 142,46 | 158,80 | 534,22 | 0,0002 | 0,91 | 11,15 | 0,204 |
| 2 | 205,28 | » | | 20,13 | 149,3 | 149,86 | 165,29 | » | 1 | 0,87 | 11,15 | 0,204 |
| 3 | 205,17 | » | | 22,06 | 152,3 | 149,81 | 166,54 | 533,01 | 1 | 0,75 | | 0,203 |
| 4 | 205,14 | » | | 20,19 | 153,7 | 151,69 | 166,99 | » | 1 | 0,91 | | 0,203 |
| 5 | 205,05 | » | | 19,61 | 155,7 | 155,68 | 170,18 | » | 2 | 0,95 | 10,63 | 0,200 |
| 6 | 205,01 | 8,451 | | 23,65 | » | 157,99 | 175,39 | » | 3 | 1,00 | | 0,203 |
| 7 | 205,43 | » | | 21,22 | 138,1 | 138,65 | 155,23 | 534,24 | 3 | 0,83 | 12,34 | 0,204 |
| 8 | 205,41 | 7,923 | | 19,40 | 138,7 | 140,76 | 155,73 | » | 3 | 0,90 | | 0,201 |
| 9 | 205,50 | » | | 23,64 | 141,3 | 139,60 | 157,76 | » | 3 | 0,87 | | 0,201 |
| 10 | 205,44 | » | | 24,78 | 138,8 | 137,46 | 156,63 | 534,20 | 3 | 0,71 | 14,67 | 0,202 |

| No. | *O* | *W* | *K* | *S* | *U* | $V_1$ | $V_m$ | *V* | *d* | *T* | $\lambda_2$ | *c* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 205,17 | 7,923 | | 27,34 | 157,5 | 155,88 | 175,89 | 533,95 | 0,0003 | 0,75 | | 0,201 |
| 12 | » | » | | 25,23 | 150,2 | 149,66 | 168,48 | 533,09 | 4 | 0,71 | 14,67 | 0,201 |
| 13 | » | » | | 13,72 | » | 153,13 | 163,64 | 533,09 | 2 | 0,75 | | 0,204 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0002 | | 12,45 | 0,202 |
| **Schwefelsaures Kupferoxyd mit 1 Aeq. Wasser.** Pulverförmig. Spec. Gew. bei 16° C. 3,125. | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 206,36 | 8,451 | | 14,32 | 118,6 | 110,99 | 123,27 | 537,84 | 0,0002 | 0,70 | | 0,205 |
| 2 | » | 7,923 | | 14,86 | 107,9 | 108,97 | 121,56 | 537,44 | 1 | 1,20 | 7,78 | 0,201 |
| 3 | 206,16 | 8,451 | | 17,50 | 118,6 | 118,10 | 132,43 | » | 2 | 1,41 | | 0,201 |
| 4 | 206,06 | » | | 15,80 | 122,5 | 126,19 | 138,65 | » | 3 | 1,60 | | 0,196 |
| 5 | 206,24 | » | | 19,07 | 122,1 | 121,25 | 136,24 | 536,78 | 5 | 0,83 | 11,73 | 0,195 |
| 6 | 206,70 | » | | 21,77 | 108,3 | 103,79 | 122,46 | 532,88 | 3 | 1,00 | 9,53 | 0,208 |
| 7 | » | » | | 16,95 | 108,5 | 122,01 | 136,09 | » | 3 | 1,00 | | 0,208 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0003 | | 9,68 | 0,202 |
| **Schwefelsaures Nickeloxydul mit 1 Aeq. Wasser.** Feste Stücke. Spec. Gew. bei 16° C. | | | | | | | | | | | | |
| | 206,48 | 8,451 | | 8,960 | 118,1 | 124,73 | 133,28 | 534,32 | 0,0002 | 0,74 | 13,95 | 0,237 |
| **Schwefelsaures Zinkoxyd mit 2 Aeq. Wasser.** Feste Stücke. Spec. Gew. bei 16° C. | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 206,74 | 7,727 | 60,00 | 28,34 | 109,9 | 108,72 | 130,72 | 533,04 | 0,0004 | 0,83 | 11,05 | 0,196 |
| 2 | 206,74 | » | » | » | 122,3 | 121,25 | 142,51 | » | 6 | 0,87 | 10,48 | 0,230 |
| 3 | » | » | 60,25 | » | 125,5 | 123,81 | 144,86 | 533,24 | 4 | 0,75 | 12,38 | 0,246 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0005 | | 11,30 | 0,224 |

**Schwefelsaures Kupferoxyd mit 2 Aeq. Wasser.**

Pulverförmig. Spec. Gew. bei 16° C. 2,808.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_3$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 206.90 | 7,690 | 60,00 | 29,67 | 98,65 | 99,52 | 121,96 | 536,57 | 0,0006 | 1,00 | 12,03 | 0,226 |
| 2 | 206,79 | » | » | 28,71 | 105,55 | 101,01 | 123,67 | 536,22 | 6 | 0,90 | | 0,198 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0006 | | 12,03 | 0,212 |

**Schwefelsaures Eisenoxydul mit 3 Aeq. Wasser.**

Feste Stücke. Spec. Gew. bei 16° C. 2,268.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_3$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 206,51 | 8,451 | 60,00 | 44,25 | 102,2 | 103.48 | 124,73 | 534,53 | 0,0004 | 0,90 | 9,67 | 0,242 |
| 2 | 206,49 | » | 60,25 | 44,71 | 103,4 | 106,94 | 128,00 | » | » | 0,75 | | 0,251 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0004 | | 9,67 | 0,247 |

**Schwefelsaures Kupferoxyd mit 5 Aeq. Wasser.**

Krystalle. Spec. Gew. bei 16° C. 2,268.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_3$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 204,85 | 7,923 | 60,00 | 52,99 | 171,2 | 176,35 | 193,28 | 535,12 | 0,0004 | 0,89 | | 0,320 |
| 2 | 205,08 | » | 60,25 | 51,31 | 155,3 | 154,07 | 172,23 | 535,11 | 5 | 1,05 | | 0,316 |
| 3 | 205,30 | » | » | 48,84 | 146,2 | 145,79 | 164,34 | 533,58 | 5 | 1,10 | 8,03 | 0,321 |
| 4 | 205,17 | 8,451 | 60,00 | 47,81 | 147,3 | 148,36 | 166,64 | 532,53 | 8 | 0,83 | 11,05 | 0,321 |
| 5 | 205,52 | 7,923 | 60,25 | 45,68 | 135,3 | 135,89 | 155,13 | 533,79 | 6 | 0,88 | 10,53 | 0,312 |
| 6 | 205,48 | » | 58,50 | 53,40 | » | 137,62 | 155,83 | » | 6 | 0,97 | | 0,318 |
| 7 | » | » | 60,25 | 50,32 | 137,1 | 137,47 | 156,43 | 534,37 | 5 | 0,80 | 11,52 | 0,313 |
| 8 | » | » | 60,00 | 44,93 | 147,1 | 141,99 | 163,79 | 531,45 | 4 | 0,88 | | 0,312 |
| 9 | 205,43 | » | 60,25 | 43,16 | 137,9 | 139,68 | 158,91 | 534,36 | 6 | 0,91 | 9,75 | 0,311 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0005 | | 10,18 | 0,316 |

**Schwefelsaures Manganoxydul mit 5 Aeq. Wasser.**

Feste Krystalle. Spec. Gew. bei 16° C. 2,059.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 204,89 | 7,923 | 60,25 | 38,93 | 150,3 | 156,82 | 175,49 | 534,91 | 0,0003 | 1,20 | | 0,310 |
| 2 | 204,67 | » | » | 37,12 | 175,5 | 169,50 | 187,48 | » | 2 | 0,83 | | 0,342 |
| 3 | 205,23 | » | 60,00 | 36,38 | 145,5 | 146,73 | 165,49 | 532,55 | 5 | 0,95 | 9,49 | 0,365 |
| 4 | 205,55 | » | 60,25 | 35,66 | 134,6 | 135,75 | 155,48 | 534,36 | 6 | 0,75 | 12,38 | 0,324 |
| 5 | 206,65 | » | 60,00 | 34,46 | 102,0 | 100,19 | 121,56 | 536,11 | 8 | 0,80 | 11,52 | 0,340 |
| 6 | 206,15 | » | » | 34,16 | 115,9 | 115,86 | 136,44 | 535,71 | 4 | 0,83 | 11,05 | 0,350 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0005 | | 11,11 | 0,338 |

**Schwefelsaures Eisenoxydul mit 7 Aeq. Wasser.**

Krystalle. Spec. Gew. bei 16° C. 1,9854.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 205,70 | 7,923 | 60,25 | 49,20 | 135,5 | 137,50 | 156,33 | 533,80 | 0,0003 | 0,97 | | 0,336 |
| 2 | 205,80 | » | 60,00 | 39,54 | 129,7 | 128,19 | 147,86 | » | 5 | » | | 0,337 |
| 3 | 205,43 | » | » | 49,23 | 152,7 | 150,93 | 168,78 | 534,45 | 4 | 1,01 | 9,07 | 0 374 |
| 4 | 205,55 | » | » | 50,13 | 134,3 | 135,52 | 153,89 | 534,04 | 5 | 0,80 | 11,52 | 0,391 |
| 5 | 205,50 | » | » | 45,20 | 139,2 | 141,39 | 160,00 | 533,64 | 5 | 0,95 | 9,50 | 0,349 |
| 6 | 205,43 | » | » | 42,24 | 138,4 | 139,82 | 158,71 | 534,22 | 6 | 0,83 | 11,05 | 0,355 |
| 7 | 205,14 | » | 60,25 | 39,36 | 153,3 | 146,34 | 165,19 | 534,45 | 5 | 0,95 | | 0,356 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0005 | | 10,28 | 0,357 |

### Schwefelsaures Nickeloxydul mit 7 Aeq. Wasser.

Feste Krystalle. Spec. Gew. bei 16° C. 1,877.

| No. | O | W | K | S | U | $V_1$ | $V_m$ | V | d | T | $\lambda_2$ | c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 207,29 | 8,451 | 60,00 | 37,82 | 116,1 | 118,70 | 138,65 | 533,30 | 0,0004 | 1,00 | | 0,346 |
| 2 | » | » | 60,25 | » | » | 119,97 | 139,86 | » | 5 | » | | 0,349 |
| 3 | » | » | 60,00 | » | 119,4 | 116,47 | 136,54 | 533,20 | 4 | » | | 0,344 |
| 4 | » | » | 60,25 | » | 118,5 | 118,98 | 139,15 | » | 2 | 0,93 | 9,75 | 0,322 |
| 5 | » | » | 60,00 | » | 125,4 | 125,41 | 144,96 | » | 4 | 1,31 | 7,11 | 0,358 |
| 6 | » | » | 60,25 | » | 126,8 | 126,75 | 146,41 | » | 4 | 0,91 | 10,23 | 0,343 |
| 7 | » | » | 60,00 | » | 127,1 | 124,58 | 144,36 | » | 4 | 1,00 | | 0,328 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0004 | | 9,03 | 0,341 |

### Schwefelsaure Magnesia mit 7 Aeq. Wasser.

Krystalle. Spec. Gew. bei 16° C. 1,701

| No. | O | W | K | S | U | $V_1$ | $V_m$ | V | d | T | $\lambda_2$ | c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 205,91 | 8,451 | 60,25 | 51,15 | 157,5 | 147,77 | 165,49 | 535,11 | 0,0001 | 1,11 | | 0,398 |
| 2 | 205,07 | » | 60,00 | 47,21 | 164,1 | 162,14 | 179,38 | 534,91 | 3 | 0,83 | 11,34 | 0,401 |
| 3 | 206,76 | 7,923 | » | 33,78 | 111,3 | 107,31 | 128,10 | 536,40 | 5 | 0,91 | | 0,388 |
| 4 | » | » | 60,25 | » | 113,3 | 123,02 | 142,96 | » | 8 | 0,75 | | 0,415 |
| 5 | » | » | 60,00 | » | 123,2 | 124,45 | 144,26 | » | 5 | 0,89 | 10,50 | 0,412 |
| 6 | » | » | 60,25 | » | 144,0 | 137,77 | 156,92 | 536,11 | 3 | 0,83 | | 0,429 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0004 | | 10,92 | 0,407 |

**Schwefelsaures Zinkoxyd mit 7 Aeq. Wasser.**

Feste Krystalle. Spec. Gew. bei 16° C. 1,901.

| No. | $O$ | $W$ | $K$ | $S$ | $U$ | $V_1$ | $V_m$ | $V$ | $d$ | $T$ | $\lambda_2$ | $c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 205,75 | 7,923 | 60,00 | 42,90 | 128,0 | 127,95 | 147,66 | 534,32 | 0,0004 | 0,78 | 11,84 | 0,311 |
| 2 | » | » | 60,25 | 40,06 | 128,7 | 128,71 | 148,56 | » | 5 | 0,91 | 9,75 | 0,319 |
| 3 | 205,82 | » | 60,00 | 41,20 | 130,5 | 131,24 | 150,77 | » | 4 | 0,93 | 9,67 | 0,326 |
| 4 | 205,52 | » | 60,25 | 37,72 | 132,4 | 134,96 | 154,54 | » | 6 | 0,85 | | 0,341 |
| 5 | 205,44 | » | 60,00 | 40,09 | 131,5 | 135,51 | 154,83 | » | 4 | 0,80 | | 0,341 |
| 6 | 205,70 | » | » | 39,00 | 127,6 | 128,62 | 148,26 | 534,76 | 6 | » | 11,52 | 0,352 |
| 7 | 205,80 | » | 60,25 | 37,71 | » | 126,66 | 146,76 | » | 4 | 0,83 | 11,52 | 0,313 |
| 8 | 206,18 | » | 60,00 | 38,18 | 109,6 | 108,46 | 129,16 | 535,57 | 5 | 0,95 | 9,50 | 0,347 |
| 9 | 206,31 | » | 60,25 | 34,60 | 113,0 | 116,24 | 136,89 | » | 5 | 0,89 | | 0,339 |
| 10 | 205,98 | » | 60,00 | 35,88 | 113,6 | 117,19 | 137,60 | 532,94 | 3 | 0,89 | | 0,329 |
| 11 | 206,60 | » | » | 36,12 | 98,8 | 99,97 | 121,35 | 533,34 | 4 | 0,91 | 9,75 | 0,305 |
| | | | | | | | | Mittel: | 0,0005 | | 10,51 | 0,328 |

Aus den Endwerthen der einzelnen Versuche, die in den vorstehenden Tabellen mitgetheilt sind, hat das arithmetische Mittel den Werth der spec. Wärme geliefert, welcher im Folgenden benutzt ist. Wenn auch unter den mitgetheilten Versuchen sich hier und da einige befinden, die von den übrigen bedeutender abweichen, so sind sie doch bei der Bildung des Mittelwerthes berücksichtigt, da bei der betreffenden Beobachtung Unregelmäfsigkeiten in der Ausführung nicht beobachtet sind und überhaupt kein Grund vorgelegen hat, der zu einer Ausscheidung berechtigte. So sind unter den 22 Beobachtungen über die spec. Wärme des Terpentinöls zwei, die einen von den übrigen wesentlich abweichenden Werth der spec. Wärme geben, es sind diefs die Beobachtungen 8 und 9, sie sind aus dem angedeuteten Grunde aber nicht als fehlerhaft verworfen. Auf den Werth des Mittels sind diese beiden Beobachtungen übrigens in diesem Falle zufällig ohne Einflufs.

Die 22 Beobachtungen der spec. Wärme des Terpentinöls sind zerstreut zwischen den übrigen Bestimmungen der spec. Wärmen im Laufe der Untersuchung zu sehr verschiedenen Zeiten angestellt, sowohl mit ganz frischer, als auch mehrfach benutzter Flüssigkeit, es spricht deshalb die sehr genaue Uebereinstimmung der grofsen Zahl von Beobachtungen, wie sie sich zeigt, am Besten für die Verwendbarkeit des Terpentinöles zu Versuchen dieser Art und rechtfertigt die Benutzung gerade dieser Flüssigkeit, wenn man gleichzeitig berücksichtigt, dafs sie die andere Bedingung ihrer Verwendbarkeit, die Salze nicht zu lösen, ebenfalls vollständig erfüllt.

Ich möchte den Beobachtungen über die spec. Wärme des Terpentinöls aufser der genannten noch die weitere Bedeutung beilegen, dafs sie bei ihrer grofsen Zahl eine Beurtheilung des Werthes der benutzten Methode ermöglichen und den besten Beweis für die Vorzüglichkeit derselben liefern. Diesen Beweis mufs man darin sehen, dafs die zu den verschiedensten Zeiten, aber immer zu dreien oder vieren angestellten Beobachtungen, eine in den mei-

sten Fällen bis auf den hunderten Theil des Mittelwerthes gehende Uebereinstimmung zeigen, eine Genauigkeit, wie sie wohl kaum mit einer anderen Methode erreicht seyn dürfte und bis jetzt bei thermometrischen Beobachtungen überhaupt wohl nicht gröfser erreicht werden kann.

Aufser diesen Beobachtungen sprechen sehr für den Werth der benutzten Methode die Resultate, welche sich bei der Bestimmung der spec. Wärme wasserfreier schwefelsaurer Salze und solcher mit einem Aeq. Wasser ergeben haben, wenn man dabei von einzelnen wenigen Salzen absieht, die aus einem besonderen Grunde die Genauigkeit der Beobachtung nicht erlaubten, wie sie bei der Mehrzahl erreicht werden konnte. Bei allen diesen Salzen kann die zweite Decimale ihres Werthes verbürgt werden, es ist also auch hier eine Genauigkeit erreicht, wie man sie mit Rücksicht auf die Schwierigkeiten bei genauen thermometrischen Beobachtungen kaum gröfser erwarten darf. Dafs eine solche Uebereinstimmung keine zufällige ist, dafür bürgt wohl die grofse Zahl der übereinstimmenden Beobachtungen in den einzelnen Reihen, die zu den verschiedensten Zeiten angestellt sind. Einen wesentlichen Antheil an der befriedigenden Uebereinstimmung der Resultate hat jedenfalls der beschriebene Dampfapparat, weil er es möglich gemacht hat, dem jedesmaligen Körper eine durchweg gleiche und genau mefsbare Temperatur zu ertheilen.

Die Beobachtungen über die spec. Wärme des wasserfreien Nickelsalzes und desjenigen mit 1 Aeq. Wasser allein können von den Salzen dieser beiden Classen auf grofse Zuverlässigkeit keinen Anspruch erheben, aus dem doppelten Grunde, dafs einmal nur die wenigen Versuche vorliegen und aufserdem, dafs nur geringe Mengen der Untersuchung haben unterworfen werden können, so dafs nur eine geringe Temperaturerhöhung und diese nicht bis auf einen so geringen Theil ihres Werthes hat beobachtet werden können, wie diefs bei den anderen Beobachtungen der Fall gewesen ist. Ich habe diese Versuche mit in die Tabelle aufgenommen in der Ueberzeugung, dafs die Resul-

tate die wahren Werthe wenigstens in grober Annäherung darstellen.

Dafs bei dem Kupfersalze mit 1 Aeq. Wasser die Resultate einen etwas geringeren Grad der Genauigkeit besitzen, als bei der Mehrzahl der übrigen Salze, hat seinen Grund wohl darin, dafs es nur in feinpulverigem Zustande zur Verfügung stand. Während nämlich das Salz, wenn es in festeren Stückchen auf das Sieb des Mischgefäfses geworfen ist, bis zur raschen Temperatur-Ausgleichung mit der Flüssigkeit durch ein Auf- und Abbewegen des Siebes gebracht werden kann, ist das bei pulverförmigen Körpern nicht in dem Maafse möglich, da diese zum grofsen Theil durch das Sieb fallen und auf dem Boden des Mischgefäfses eine mehr oder weniger unbewegliche Lage bilden, deren Temperatur sich nicht so rasch mit der der Flüssigkeit ausgleichen kann, wodurch dann eine fehlerhafte Beobachtung der Maximumstemperatur, der Hauptbeobachtung des Versuches, bedingt ist.

Dafs die spec. Wärmen der Salze mit mehr als einem Aeq. Wasser nicht auf denselben Grad der Zuverlässigkeit Anspruch machen können, wie die der beiden ersten Classen von Salzen, ist weiter oben bei der Beschreibung der Methode gezeigt, nach welcher die spec. Wärme von Salzen mit mehr als 1 Aeq. Wasser bestimmt ist; ein Vergleich der zusammengehörigen Beobachtungen einer Reihe zeigt nun auch, dafs die Uebereinstimmung in der That eine geringere ist. Namentlich dürfen die wenigen Beobachtungen an Salzen mit zwei und drei Aeq. Wasser, welche vorliegen, keinen Anspruch auf grofse Zuverlässigkeit machen, weil bei diesen zu dem erwähnten, in der Methode selbst begründeten Fehler noch der hinzutrat, dafs in Folge ihres unkrystallisirten Zustandes ihre Wärmeleitungsfähigkeit eine geringere war und daher die Temperaturausgleichung nicht so rasch und vollständig erfolgen konnte, wie bei den anderen Salzen. Ich betrachte daher die für diese Salze erhaltenen Werthe, ebenso wie bei den beiden erwähnten Nickelsalzen, nur als angenäherte.

Bei den krystallisirten Salzen mit 5 und 7 Aeq. Wasser liegt die Sache günstiger, es hat hier allerdings wegen der geringeren Zuverlässigkeit der Methode in den Resultaten nicht die Uebereinstimmung erreicht werden können wie bei den Salzen der beiden ersten Classen, die Uebereinstimmung der spec. Wärmen in den einzelnen Beobachtungsreihen ist aber trotzdem eine so grofse, dafs man den erhaltenen Mittelwerth immerhin als sehr angenähert mit dem wahren Werthe übereinstimmend betrachten kann. Es ist die Annahme gewifs zulässig, wenn man berücksichtigt, dafs bei der Natur thermometrischer Beobachtungen eine gröfsere Genauigkeit als bis auf den hundertsten Theil der gesuchten Gröfse vorläufig nicht zu erreichen ist, und dafs bei diesen Salzen die Beobachtungen einzelner Reihen bis auf den funfzigsten Theil, aber bei keiner auf weniger als den zwanzigsten Theil übereinstimmen.

In Beziehung auf die Eisensalze will ich noch eines Umstandes erwähnen, der mir nicht ohne allgemeineres Interesse zu seyn scheint und gleichzeitig der Grund gewesen ist, weshalb mehrere Eisensalze überhaupt nicht und andere nur in geringer Ausdehnung haben untersucht werden können. Es hat sich nämlich gezeigt, dafs diese Salze durch den Sauerstoff oxydirt werden, welcher selbst im frischesten Terpentinöle enthalten ist, und zwar in einem solchen Grade, dafs die dabei entwickelte Wärmemenge direct am Thermometer beobachtet werden kann. Ich habe es zuerst bei den Salzen mit mehr als 1 Aeq. Wasser beobachtet, die vor dem Einwerfen des erhitzten Kupfers in das Terpentinöl gebracht waren, und habe gefunden dafs die entwickelte Wärmemenge namentlich grofs bei den nicht krystallisirten Salzen ist, augenscheinlich weil diese der Flüssigkeit eine gröfsere Oberfläche darbieten. Wie bedeutend die so entwickelte Wärme ist, geht daraus hervor, dafs das Thermometer bei etwa 40 Gr. des Salzes mit 3 Aeq. Wasser und etwa 200 Gr. Terpentinöl in der ersten Zeit nach dem Hineinlegen des Salzes in die Flüssigkeit in je zwei Minuten um einen Skalenstrich, also etwa 0°,2 C. stieg.

Von Dauer ist diese Wärmeentwickelung nicht, sie nimmt mit der Zeit ab, am Schnellsten bei dem krystallisirten Salze, weniger rasch bei dem unkrystallisirten Salze mit 3 Aeq. Wasser, sie hört vollständig auf, sobald sich eine oxydirte Schicht von hinreichender Dicke gebildet, indem durch diese eine weitere Oxydation verhindert wird. Wenn man also das Salz vor jedem Versuche nur hinreichend lange in dem Terpentinöle liegen läfst, bis die Temperatur desselben vollständig constant geworden ist, so kann man die spec. Wärme mit derselben Zuverlässigkeit bestimmen, wie die anderer wasserhaltiger Salze, da die oxydirte Schicht, wenn sie auch zur Verhinderung einer weitergehenden Oxydation stark genug ist, doch gegen die Masse des unveränderten Salzes vollständig vernachlässigt werden kann. Unter Berücksichtigung dieser Vorsichtsmafsregel haben einzelne Bestimmungen der spec. Wärme genannter Salze ausgeführt werden können. Die spec. Wärme des wasserfreien Salzes dagegen und desjenigen mit 1 Aeq. Wasser haben nicht beobachtet werden können, weil diese Salze im Dampfapparat erhitzt und dann unmittelbar vor der Beobachtung in die Flüssigkeit gebracht werden mufsten; es würde hier die aus dem Dampfapparate übergeführte und die durch Oxydation entstandene Wärme zusammen beobachtet worden seyn. Aufserdem hätte, wie einzelne Versuche gezeigt haben, wegen der fortschreitenden Oxydation ein Temperaturmaximum überhaupt nicht beobachtet werden können. Die Wahl einer anderen Flüssigkeit würde diese Schwierigkeit beseitig haben, zu meinem Bedauern blieb mir aber nicht die Zeit, eine solche zu treffen und damit die Beobachtungen zu vervollständigen.

**5. Nachweis, dafs das Product aus spec. Wärme und Aequivalentgewicht für jede Classe wasserhaltiger schwefelsaurer Salze constant ist.**

Neumann hat zuerst dem Dulong'schen Gesetze, nach welchem bei den einfachen Körpern das Product aus spec. Wärme und Aeq. Gewicht eine constante Gröfse ist, eine allgemeinere Bedeutung gegeben, indem er es in etwas veränderter Form auch auf zusammengesetzte chemische Verbindungen ausdehnte [1]). Er stellte, gestützt auf die Untersuchung der spec. Wärme einer Reihe von Oxyden, kohlensauren und schwefelsauren Salzen und Schwefelsalzen das Gesetz auf, dafs allgemein das Product aus spec. Wärme und Aequivalentgewicht ein constantes wäre für alle chemisch ähnlich zusammengesetzten Körper, dafs aber den verschiedenen Classen chemischer Verbindungen verschiedene Werthe der Producte zukämen; dafs also z. B. allen Oxyden von der Form RO ein bestimmtes Product, denen von der Form $R^2O^3$ ein anderes constantes Product entspräche, dafs ebenso alle kohlensauren Salze $ROCO^2$ dasselbe constante Product lieferten, das aber verschieden wäre z. B. von dem constanten Producte der salpetersauren Salze. Diefs Gesetz ist durch die ausgedehnten Untersuchungen Regnault's über die spec. Wärme fester chemischer Verbindungen [2]) nicht allein für die genannten, sondern auch für viele andere Gruppen bestätigt, so dafs es in der ausgesprochenen Form für alle den untersuchten ähnlich zusammengesetze Gruppen als ein allgemeingültiges angesehen werden darf.

Obwohl nun unter den verschiedenartigsten Verbindungen, deren spec. Wärme Regnault bestimmt hat, sich keine befindet, die aus so verschiedenen Bestandtheilen zusammengesetzt ist, wie ein wasserhaltiges Salz, so liefs sich doch nach den andern Resultaten erwarten, dafs auch ebenso für chemisch ähnlich zusammengesetzte Salze mit Wasser-

1) Pogg. Ann. Bd. 23 S. 31.

2) Regnault: *Ann. de ch. et de ph. T.* 73. 1840, *troisième série, T.* 1, 1841. Auch diese Ann. Bd. 51 und 53.

gehalt sich für das genannte Product ein constanter Werth ergeben werde. Ein Vergleich der Producte wie sie für die untersuchten Salze aus der beobachteten spec. Wärme und dem Aeq. Gewichte gebildet und in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind, ergiebt in der That, dafs das oben ausgesprochene Gesetz auch für diese Art chemischer Verbindungen gilt und zwar in der Weise, dafs das Product für schwefelsaure Salze mit gleichem Wassergehalte immer denselben constanten Werth hat.

**Product aus spec. Wärme und Aeq. Gewicht.**

| | Beob. spec. Wärme. | Aeq. Gew. | Product. | Mittel der Producte. | Ber. spec. Wärme. |
|---|---|---|---|---|---|
| **1. Wasserfreie schwefelsaure Salze.** | | | | | |
| $MgOSO_3 + 0HO$ | 0,224 | 750,00 | 168,0 | | 0,233 |
| $ZnOSO_3$ + » | 0,174 | 1007,50 | 175,3 | 174,7 | 0,173 |
| $MnOSO_3$ + » | 0,182 | 945,00 | 172,0 | | 0,185 |
| $CuOSO_3$ + » | 0,184 | 996,25 | 183,3 | | 0,175 |
| $NiOSO_3$ + » | 0,216 | 970,00 | 209,5 | | 0,1801 |
| **2. Schwefelsaure Salze mit 1 Aeq. Wasser.** | | | | | |
| $MgOSO_3 + 1HO$ | 0,264 | 862,50 | 227,7 | | 0,262 |
| $ZnOOS_3$ + » | 0,202 | 1120,00 | 226,2 | 226,0 | 0,202 |
| $CuOSO_3$ + » | 0,202 | 1108,75 | 224,0 | | 0,204 |
| $NiOSO_3$ + » | 0,237 | 1082,50 | 256,6 | | 0,209 |
| **3. Schwefelsaure Salze mit 2 Aeq. Wasser.** | | | | | |
| $ZnOSO_3 + 2HO$ | 0,224 | 1232,5 | 276,1 | 267,5 | 0,217 |
| $CuOSO_3$ + » | 0,212 | 1221,3 | 258,9 | | 0,219 |
| **4. Schwefelsaure Salze mit 3 Aeq. Wasser.** | | | | | |
| $FeOSO_3 + 3HO$ | 0,247 | 1287,50 | 318,0 | | 0,247 |
| **5. Schwefelsaure Salze mit 5 Aeq. Wasser.** | | | | | |
| $MnOSO_3 + 5HO$ | 0,338 | 1507,50 | 509,5 | 501,1 | 0,332 |
| $CuOSO_3$ + » | 0,316 | 1558,75 | 492,6 | | 0,321 |
| **6. Schwefelsaure Salze mit 7 Aeq. Wasser.** | | | | | |
| $MgOSO_3 + 7HO$ | 0,407 | 1537,50 | 625,8 | | 0,396 |
| $ZnOSO_3$ + » | 0,328 | 1795,00 | 588,8 | 608,1 | 0,339 |
| $NiOSO_3$ + » | 0,341 | 1757,50 | 599,3 | | 0,346 |
| $FeOSO_3$ + » | 0,356 | 1737,50 | 618,6 | | 0,350 |

Die Producte der einzelnen durch ihren Wassergehalt unterschiedenen Classen dieser Salze weichen von einander ab und zwar wachsen sie allgemein mit der Zahl der Aequivalente Wasser, die mit dem wasserfreien Salze verbunden sind. Die Anzahl der verschiedenen auf ihre spec. Wärme untersuchten Classen wasserhaltiger Salze ist noch eine zu geringe, um aus den vorliegenden Resultaten ein allgemeines Gesetz für die Abhängigkeit des Productes einer bestimmten Classe wasserhaltiger Salze von dem Wassergehalte selbst ableiten zu können. Es würde ein solches Gesetz von Wichtigkeit seyn, weil damit gleichzeitig die Möglichkeit gegeben wäre, die spec. Wärme eines wasserhaltigen Salzes im voraus angenähert aus der spec. Wärme des wasserfreien Salzes und der des Wassers zu bestimmen.

Man wird sich zunächst darauf beschränken müssen, ein solches Gesetz für die einzelnen Classen chemisch ähnlicher Salze und deren Verbindungen mit Wasser aufzustellen und da glaube ich, dafs sich ein solches für die schwefelsauren Salze bereits mit einiger Sicherheit nach meinen Beobachtungen aussprechen läfst, so gering auch ihre Zahl noch ist. Nach diesen Beobachtungen *wächst das Product aus spec. Wärme und Aeq. Gewicht mit dem Wassergehalte in der Weise, dafs einer Vermehrung desselben um ein Aeq. eine gleiche Zunahme des Productes entspricht.*

Es findet hierbei indefs noch die Beschränkung statt, dafs die Salze sich in demselben Zustande befinden müssen: die Zunahme des Productes ist eine andere, wenn die Salze sich in nicht krystallisirtem Zustande befinden als wenn sie krystallisirt sind und zwar ist sie in dem letzteren Falle gröfser. Es ergeben sich, wenn von dem beobachteten Producte der betreffenden Classe das des wasserfreien Salzes abgezogen und die Differenz durch die Zahl der Aeq. Wasser dividirt wird, für die nicht krystallisirten Salze der drei Classen mit 1, 2 und 3 Aeq. Wasser für die Zunahme des Productes, die sehr nahe übereinstimmenden Werthe von 51 bez. 47 und 48 und für die krystallisirten Salze der beiden Classen mit 5 und 7 Aeq. Wasser die ebenfalls un-

tereinander sehr nahe übereinstimmenden Werthe 65 und 62. Die Mittelwerthe 49 und bez. 64 werden den wahren Werthen sehr nahe kommen und man wird in ihnen ein Unterscheidungsmittel der beiden genannten Zustände besitzen. Rein zufällig kann die Uebereinstimmung der Product-Zunahme nicht seyn, sie mufs ebenso wie die Verschiedenheit der beiden Mittelwerthe in dem physikalischen Zustande der Salze begründet seyn, da die spec. Wärme der Salze mit einem Aeq. Wasser und folglich auch die Zahl 51 sehr genau, die spec. Wärme der Salze mit 5 und 7 Aeq. Wasser aber sehr angenähert bestimmt ist.

Man wird aus diesen Resultaten mit sehr grofser Wahrscheinlichkeit auf eine verschiedene physikalische Beschaffenheit des Wassers in den wasserhaltigen schwefelsauren Salzen schliefsen dürfen, je nachdem sie nicht krystallinisch oder krystallisirt sind. Es dürfte deshalb eine Ausdehnung der Beobachtung spec. Wärmen auf andere wasserhaltige Salze überhaupt, als namentlich auch solche Salze in verschiedenen physikalischen Zuständen von besonderem Interesse seyn, da dadurch die Möglichkeit gegeben zu seyn scheint, Aufschlüsse über die Natur des Wassers in chemischen Verbindungen, also in Zuständen zu erhalten, welche der directen Beobachtung nicht zugänglich sind.

In der Uebereinstimmung der drei Zahlen 51, 47 und 48 wird man ferner ein Mittel besitzen, rückwärts zu schliefsen, dafs die spec. Wärmen der Salze mit 2 und 3 Aeq. Wasser sehr nahe richtig beobachtet sind, da die Zahl 51 das Resultat zuverlässiger Beobachtungen ist.

Die Producte, welche bei der Ableitung der eben angeführten Zahlen benutzt wurden, sind die Mittelwerthe aus den Producten der einzelnen Glieder einer Classe von Salzen. Es ist hierbei zu bemerken, dafs die für das wasserfreie Nickelsalz und das mit 1 Aeq. Wasser erhaltenen Resultate, aus den in §. 4 angegebenen Gründen, wegen ihrer Unzuverlässigkeit von der Bildung der Mittelwerthe ausgeschlossen sind. Die Werthe der Producte, wie sie für die Salze mit mehr als 1 Aeq. Wasser erhalten sind

zeigen nicht die Uebereinstimmung wie bei den Salzen der beiden ersten Classen, die Abweichungen haben einen bedeutenderen absoluten Werth, sind aber ein nur um Weniges gröfserer Theil des ganzen Werthes als dort, berücksichtigt man dazu die gröfsere Zahl der einzelnen Bestandtheile der Verbindungen und den Umstand dafs die auf diese Salze angewandte Methode nicht fehlerfrei ist, so wird man diese geringere Uebereinstimmung nicht als Grund gegen eine Ausdehnung des erweiterten Dulong'schen Gesetzes auch auf die wasserhaltigen schwefelsauren Salze gelten lassen.

Es ist angenommen, das diefs Gesetz auch für die verschiedenen wasserhaltigen schwefelsauren Salze volle Gültigkeit besitze, deren spec. Wärme nicht zuverlässig hat ermittelt werden können, und es sind die Mittelwerthe der Producte dazu benutzt, durch Division mit dem Aeq. Gewichte die spec. Wärmen rückwärts zu berechnen, wie diefs auf der Tabelle geschehen ist. In dieser Weise ist es möglich geworden, für das wasserfreie Nickelsalz und das mit 1 Aeq. Wasser, deren beobachtete spec. Wärmen sehr unzuverlässig sind, die sehr wahrscheinlichen, richtigen Werthe derselben zu berechnen. Die Abweichungen der beobachteten und berechneten spec. Wärmen sind für die beiden ersten Classen der untersuchten Salze nur sehr gering, für die letzteren etwas bedeutender, aber immer noch klein, sie erklären sich bei diesen vielleicht dadurch, dafs die Krystalle immer noch kleine ungleichmäfsig vertheilte Mengen von Mutterlauge einschliefsen, die sich nicht entfernen lassen.

(Schlufs im nächsten Hefte).

# II. *Versuche über den Magnetismus bei verschiedenen Temperaturen;*

*von Dr. Mauritius,*
Assistenten am math. phys. Institut zu Marburg.

Die Einwirkung der Wärme auf den Magnetismus ist für lie Theorie und die praktische Anwendung von solcher Nichtigkeit, dafs es gerechtfertigt erscheinen wird, zu den orhandenen ausgezeichneten Untersuchungen noch weitere Beiträge hinzuzufügen. Meine Versuche gelten dem Veralten von Stabmagneten bei abwechselndem Erwärmen und Erkälten und den Erscheinungen bei sehr hohen Temperaturen. Sie sollen nach diesen Gesichtspunkten getrennt eschrieben werden.

## I. Magnetismus bei Temperaturwechseln.

### §. 1.

Ueber das Verhalten der Magnete beim Erwärmen und Erkälten hat Wiedemann zwei Aufsätze (Pogg. Ann. Bd. 100, S. 241 und Bd. 103 S. 563) veröffentlicht, aus deien hervorgeht, dafs ein Magnet abwechselnd auf 100 C. rwärmt und 0 erkältet, schliefslich für jede dieser Temeraturen einen constanten Magnetismus annimmt; wobei er für die höhere Temperatur der kleinere ist. In der Bd. 100, S. 242 mitgetheilten Beobachtung wurde ein Stab ei 16 C. durch den Strom magnetisirt und sein anfänglicher Magnetismus $m_a$ bestimmt. Alsdann wurde er zum rsten Mal auf 100 C. erhitzt und zeigte den Magnetismus $m^I_{100}$; darauf bis 0 erkältet, zeigte er $m^I_0$; sodann zum zweien Male erhitzt ergab sich $m^{II}_{100}$ und wieder erkältet $m^{II}_0$. Diefs geschah bei verschieden starken Magnetisirungen und s ergaben sich die Ablenkungen in Scalentheilen:

| $m_a$ | $m_{100}^I$ | $m_0^I$ | $m_{100}^{II}$ | $m_0^{II}$ | $\frac{m_a - m_0^I}{m_a}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 16,6 | 11,5 | 12,5 | 11 | 12 | 0,247 |
| 33 | 23,7 | 25,9 | 21 | 25,1 | 0,212 |
| 52 | 35,5 | 39,7 | 33,5 | 38,5 | 0,246 |
| 71,5 | 49 | 55,5 | 46 | 53,8 | 0,223 |
| 93 | — | 72,0 | 60,2 | 69,6 | 0,225 |

Nun wurden die nach der ersten Procedur bei 0 gebliebenen Magnetismen $m_0^I$ von den anfänglichen $m_a$ abgezogen und diese Differenzen mit den anfänglichen Magnetismen gemessen. Dadurch ergaben sich die in der letzten Columne stehenden Quotienten und diese führten zu dem Satz, dafs unabhängig von der Stärke der Magnetisirung diese Verluste nahezu dem ersten Magnetismus des Stabes proportional sind. Dafs die Quotienten von einander abweichen, wird auf die allmähliche Aenderung der Härte beim abwechselnden Erwärmen und Erkälten zurückgeführt.

§. 2.

Hier verdienen meines Erachtens verschiedene Punkte eine nähere Untersuchung.

1. Wie eben erwähnt, führt Wiedemann die Abweichung der Quotienten auf die Aenderung der Härte zurück. Ob diese wirklich die Ursache ist, bleibt festzustellen. In dem zweiten Theil meiner Arbeit wird eine Ansicht über die Natur des harten Stahls mitgetheilt werden, wonach die Erscheinungen der Härte viel von ihren scheinbaren Zufälligkeiten verlieren.

2. Wiedemann findet den ersten Verlust »nahe zu« dem ursprünglichen Magnetismus des Stabes proportional, die fraglichen Quotienten sind nämlich der Reihe nach

$$\frac{1}{4,1} \quad \frac{1}{4,7} \quad \frac{1}{4,1} \quad \frac{1}{4,5} \quad \frac{1}{4,4}.$$

Bildet er sodann für die zweite Erwärmung und Erkältung den Verlust, so findet er, dafs dieser »etwa« nur ein

Achtel des ersten Verlustes beträgt. Diefs ist ungefähr richtig, denn die Quotienten sind der Reihe nach

$$\frac{1}{8,2} \quad \frac{1}{8,9} \quad \frac{1}{10,3} \quad \frac{1}{9,4} \quad \frac{1}{8,8}.$$

In einem späteren Aufsatze jedoch (Pogg. Ann. Bd. 103 S. 564) wird das Gesetz bestimmt ausgesprochen und sogar über alle folgenden Verluste ausgedehnt, dahin lautend: »dafs ein oftmals erwärmter und erkalteter Magnet jedesmal den gleichen procentischen Antheil seines ersten Magnetismus behält«.

Die obigen beiden Reihen scheinen mir bei aller Verehrung für Wiedemann nicht ganz hinreichend, das Gesetz in dieser allgemeinen Form aufzustellen und ich werde aus meinen Versuchen zeigen, dafs für harte Stäbe das Gesetz nur in einer bestimmteren Fassung Gültigkeit zu besitzen scheint.

3. Meines Erachtens müssen die schliefslich nach häufiger Erwärmung und Erkältung bleibenden *constanten Magnetismen* bei 0 und bei 100 C. den besten Einblick in die hier waltenden Gesetze gewähren, denn sie stehen offenbar mit der vielfach angewendeten Temperaturdifferenz in einem bestimmten Zusammenhang und drücken die Gränze ihrer Wirkungsfähigkeit aus. Es schien nun daher trotz des mühsamen Weges erforderlich, bis zu jenen constanten Magnetismen vorzudringen und einstweilen auf die Gröfse und den Gang des Verlustes bis zur erreichten Constanz weniger Gewicht zu legen.

Nachdem ich so einige Gesichtspunkte angegeben habe, unter welchen ich diese Verhältnisse betrachten wollte, wende ich mich jetzt zur Methode und werde nach Mittheilung der Versuche weitere Punkte der Betrachtung hinzufügen.

§. 3.

Die zur Untersuchung angewandte Methode war im Wesentlichen dieselbe wie bei Wiedemann. Doch will ich aus verschiedenen Rücksichten den Apparat genauer beschreiben.

Der Magnet mit Spiegel hing an einem Coconfaden von 1m Länge, welcher aus zwei sogenannten einfachen Fäden bestand. Er besafs eine cylindrische Form von 60mm Länge und 6mm Durchmesser und hatte selbst einen 15 maligen Temperaturwechsel von 0 und 100 C. durchgemacht. Er war mit angedrehten Zäpfchen in die Haken eines zweimal rechtwinklich gebogenen aus gehämmertem Messingdraht erhaltenen Streifens eingelegt, welcher über sich den Spiegel trug. Der Magnet schwebte frei ohne Dämpfer in einem cubischen Kästchen aus Holz, dessen vordere Fläche durch Spiegelglas gebildet wurde, auf der oberen Fläche war das Kästchen durchblocht und trug die Glasröhre mit einem Torsionskreis, woran der Faden hing. Es war in eine starke, in Decimeter getheilte und mit einer Rille versehene Schiene aus Holz so eingelassen, dafs die Rille im Horizont des Magnets sich befand. Die Schiene lag rechtwinklich zum magnetischen Meridian auf einem balkenartigen 1,4 Meter langen Brett. Das letztere ruhte auf Messingbolzen, welche in einer Ecke des gleicher Erde liegenden Beobachtungszimmers in die Steinmauern eingesenkt waren, wodurch sich der ganze Apparat vom Fufsboden isolirte [1]).

Es wird dem Leser aufgefallen seyn, dafs der Magnet ganz ohne Dämpfung ist. Diese machte ich entbehrlich durch eine besondere Beruhigungsart, welche meiner Mei-

1) Obwohl nicht hierher gehörig will ich erwähnen, dafs zu diesen Versuchen nur ein Theil des Apparates benutzt wurde. Zu demselben gehört nämlich noch ein von dickem Draht 5 Mal umwickelter Holzring von 559mm Durchmesser, der sich in der Ebene des Meridians befindet und um den halben Radius der Windungen von der Nadel absteht. Er ruht auf einem besonderen Stuhl und die Schiene ist so durch ihn gesteckt, dafs er dieselbe nur mit einem feinen als Durchmesser zum Zweck der Einstellung über ihn gespannten Faden berührt. Man sieht, dafs der Apparat nicht nur ein Ablenkungsapparat ist, sondern auch als Spiegelbussole nach dem Princip von Gaugain dient. Er ist in dieser Form sehr gefällig und macht die grofsen Kasten zur Abhaltung von Luftströmungen entbehrlich. Dabei erlaubt die Gestalt des Magnets und seine Befestigungsart, vermöge deren man ihn leicht herausnehmen kann, die directe Bestimmung seines magnetischen Moments, so dafs er in einem ganz kleinen Kästchen schweben kann.

nung nach vor den übrigen die gröfste Bequemlichkeit voraus hat und alle verdächtigen Metallmassen aus der Nähe des Magnets entfernt. Diese Methode soll im Anfang beschrieben werden, der Leser wolle sie aber gefälligst sogleich überblicken, um nachher die Anwendung beurtheilen zu können.

Die Scala befand sich in einer Entfernung von 1105,5$^{mm}$ und war in Millimetern getheilt.

Die zu untersuchenden Stäbe wurden senkrecht zum magnetischen Meridian im Horizont des Spiegelmagnets auf der Nordseite desselben in eine Röhre aus Zinkblech geschoben, welche am östlichen Ende ein aufsteigendes Rohr mit trichterförmiger Erweiterung, am westlichen Ende eine gut passende Kappe mit einem Bleirohr trug. Mit diesem Bleirohr wurde durch Kautschuk ein anderes Bleirohr verbunden, welches zu einem kleinen Dampfkessel aus Weifsblech führte. Derselbe stand auf einer mit Schmiedekohlen gut geheizten Kohlenpfanne. Durch die eben erwähnten Bleiröhren gelangte der Dampf aus dem Kessel in das Zinkrohr und stieg aus dem Trichter desselben in die Luft. Nach einiger Zeit wurde die Dampfleitung im Westen bei der Kautschukverbindung unterbrochen und in den Trichter auf der Ostseite ein Kautschuckschlauch gelegt, welcher aus einem mit einem Hahn versehenen Reservoir Eiswasser auf entgegengesetztem Wege durch den Apparat führte.

Thermometer waren nicht eingeschaltet, indessen steht nicht zu bezweifeln, dafs constante Temperaturen erreicht wurden, weil jedesmal die kalte und die heifse Leitung geraume Zeit andauerten, und besonders beim Dampf gewartet wurde, bis er das condensirte Wasser im Rohr mit Heftigkeit aus dem Trichter hinausgeschleudert hatte.

Alle Stäbe wurden glashart gemacht; einerseits um diefs Gebiet in einer weiteren Richtung zu erforschen, andrerseits deshalb, weil bei practischen Zwecken immer gehärtete Stäbe angewendet werden. Hieraus entsprang allerdings der Uebelstand, dafs die festen Gränzen mit der fort-

währenden Intensitätsabnahme der Stäbe ebenfalls ein wenig sanken.

§. 4.

Ehe ich nun die Beobachtungen zusammenstelle, glaube ich eine Versuchsreihe vollständig aus dem Journal mittheilen zu sollen. Die Zeit, welche zwischen den einzelnen Beobachtungen verflofs war gewöhnlich 5$^{m}$. Ich habe mich aber durch besondere Versuche nochmals überzeugt, dafs eine längere Temperatureinwirkung ohne Einflufs bleibt, wie schon von Gaufs und Weber dargethan worden ist. (Resultate 1837 S. 47, 48).

Neben den direct beobachteten Elongationen steht der darausfolgende mittlere Rand.

| Temp. | Elongationen | Mittel | Temp. | Elongationen | Mittel | Temp. | Elongationen | Mittel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ruhelage | 513,8 | 513,35 | 0 | 748,5 | 749,00 | 100 | 725,6 | 726,12 |
| | 2,9 | | | 9,5 | | | 6,6 | |
| | 3,8 | | | 8,5 | | | 5,7 | |
| 0 | 836,6 | 836,10 | 100 | 731,5 | 732,00 | 0 | 742,0 | 742,12 |
| | 5,6 | | | 2,5 | | | 2,3 | |
| | 6,6 | | | 1,5 | | | 1,9 | |
| 100 | 759,0 | 759,37 | 0 | 748,2 | 748,05 | 100 | 724,1 | 724,49 |
| | 9,8 | | | 7,9 | | | 4,9 | |
| | 8,9 | | 100 | 730,8 | 730,37 | | 4,05 | |
| | 9,8 | | | 0,0 | | 0 | 739,4 | 739,90 |
| 0 | 767,9 | 767,35 | | 0,7 | | | 40,4 | |
| | 6,8 | | 0 | 745,5 | 745,80 | | 39,4 | |
| | 7,9 | | | 6,1 | | 100 | 723,1 | 722,95 |
| 100 | 745,6 | 745,00 | | 5,5 | | | 2,8 | |
| | 4,4 | | | | | | 3,1 | |
| | 5,6 | | | Pause | | 0 | 739,8 | 739,45 |
| 0 | 758,3 | 758,55 | 100 | 729,3 | 728,68 | | 9,1 | |
| | 7 | | | 8,1 | | | | |
| 100 | 737,6 | 737,87 | | 9,3 | | Ruhelage | 513,8 | 513,08 |
| | 8,3 | | | 8,0 | | | 2,35 | |
| | 7,4 | | 0 | 743,6 | 744,12 | | 3,8 | |
| | 8,2 | | | 4,6 | | | 2,4 | |
| 0 | 752,95 | 752,52 | | 3,7 | | | | |
| | 2,15 | | 100 | 727,4 | 726,85 | | | |
| | 2,9 | | | 6,3 | | | | |
| | 2,1 | | | 7,4 | | | | |
| 100 | 733,3 | 733,50 | 0 | 742,3 | 742,92 | | | |
| | 7 | | | 3,6 | | | | |
| | 3 | | | 2,2 | | | | |

Eine Zusammenstellung sämmtlicher Versuche geben die nun folgenden Tabellen. Es ist darin die jedesmalige Ablenkung in Scalentheilen bei 0 und bei 100 angegeben. Die Versuchsreihen mit demselben Stab stehen beisammen und sind mit römischen Ziffern bezeichnet.

Die gebrauchten Stäbe sind *A*, *B*, *C*, *D*, und *E* genannt und waren alle parallelepipedisch. Ihre Dimensionen in Millimetern gemessen betrugen

| Stab. | Länge. | Breite. | Dicke. |
|---|---|---|---|
| *A* | 303 | 17 | 10,7 |
| *B* | 301 | 20 | 6 |
| *C* | 302 | 10,9 | 10,9 |
| *D* | 148 | 20 | 6 |
| *E* | 73,5 | 20 | 6. |

Stab *A* war ein Beruhigungsstab des Magnetometers von unbekannter Bezugsquelle und schon seit 50 Jahren wenigstens im phys. Institut biesiger Universität, die übrigen Stäbe trugen das Zeichen Huntsman und waren als englischer Gufsstahl bezogen worden. Die Magnetisirung geschah, wo nicht das Gegentheil ausdrücklich gesagt ist, immer durch den Strich.

## Tabelle 1.

Stab *A*.

| I. | | II. | | III. | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 C. | 100 C. | 0 | 100 | 0 | 100 |
| 94,23 | 67,23 | 166,20 | 119,79 | 370,34 | 280,12 |
| 70,45 | 62,40 | 129,67 | 116,11 | 298,45 | 266,31 |
| 67,65 | 60,95 | 126,70 | 114,37 | 289,17 | 261,77 |
| 65,67 | 60,55 | 125,50 | 114,85 | 285,22 | 259,58 |
| 66,18 | • 60,50 | 125,67 | | 283,44 | 257,47 |
| 65,82 | | | | 280,04 | 254,14 |
| | | | | 278,60 | 251,84 |
| | | | | 274,94 | |
| | | | | 272,91 | 247,01 |
| | | | | 271,09 | 247,26 |
| | | | | 270,93 | 247,57 |
| | | | | 271,93 | |

## Tabelle 2.

Stab *B*.

| IV. | | V. | | VI. | | VII. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 |
| 34,74 | 32,19 | 70,72 | 63,69 | 189,70 | 142,05 | 74,05 | 59,90 |
| 35,39 | 31;81 | 69,62 | 63,14 | 151,65 | 136,45 | 60,40 | 54,86 |
| 35,14 | | 69,12 | 62,82 | 148,28 | 134,20 | 57,50 | 53,28 |
| | | 68,74 | | 146,12 | 132,71 | 56,28 | 52,58 |
| | | | | 144,65 | 131,55 | 55,90 | 52,20 |
| | | | | 143,73 | 130,80 | 55,63 | |
| | | | | 142,92 | 130,05 | | |
| | | | | 141,15 | | | |

## Tabelle 3. / Tabelle 5.

Stab *C*. / Stab *E*.

| VIII. | | IX. | | X. | | XV. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 9 | 100 |
| 26,36 | 24,91 | 69,20 | 55,10 | 323,02 | 246,29 | 58,57 | 33,51 |
| 26,37 | 24,78 | 58,50 | 53,20 | 254,27 | 321,91 | 34,70 | 29,95 |
| 26,13 | | 58,10 | 52,55 | 245,47 | 224,79 | 31,27 | 27,19 |
| | | 56,80 | 51,85 | 239,44 | 220,42 | 27,98 | 23,85 |
| | | 56,35 | 51,35 | 235,92 | 218,92 | 24,40 | 21,65 |
| | | 56,06 | 52,20 | 234,97 | 217,29 | 23,50 | |
| | | 56,86 | | 232,72 | 215,60 | | |
| | | | | 231,04 | 213,77 | | |
| | | | | 229,84 | 213,04 | | |
| | | | | 229,04 | 211,41 | | |
| | | | | 226,82 | 209,87 | | |
| | | | | 226,37 | | | |

*Bemerkung*. Die Beobachtungen nach dem Strich in Reihe III sind zwei Tage später angestellt. Bei den Reihen IV und VIII war schon ein 11maliger Temperaturwechsel vorhergegangen, bei V ein 2maliger.

Tabelle 4.

Stab *D*.

| XI. | | XII. | | XIII. | | XIV. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 |
| 85,55 | 47,62 | 121,38 | 98,81 | 122,50 | 102,25 | 162,03 | 104,23 |
| 53,03 | 39,78 | 99,48 | 81,38 | 122,38 | | 116,72 | 94,40 |
| 49,73 | 40,33 | 94,78 | 78,60 | | | 110,45 | 91,02 |
| 47,58 | 38,80 | 91,00 | 74,45 | | | 108,25 | 88,70 |
| 46,48 | 37,95 | 87,70 | 73,45 | | | 105,55 | 87,65 |
| 45,35 | 37,23 | 86,81 | 72,03 | | | 104,45 | 87,20 |
| 44,33 | 36,16 | 85,70 | 71,13 | | | 103,05 | 86,62 |
| 43,42 | 34,53 | 84,66 | 70,03 | | | 102,35 | |
| 42,83 | 35,21 | 83,98 | 69,40 | | | | |
| 42,32 | 34,63 | 83,23 | 68,83 | | | | |
| 41,63 | | 82,32 | | | | | |

§. 5.

**Die vorstehenden Versuche lassen Folgendes schliefsen:**

1. Vergleicht man die Differenz der zuletzt bei 0 und bei 100 gebliebenen Magnetismen $M_0$ und $M_{100}$ mit dem bei 0 gebliebenen Magnetismus $M_0$, bildet also den Quotienten $\frac{M_0 - M_{100}}{M_0}$, so erhält man für die einzelnen Stäbe und Reihen die Werthe, wie die folgende Tabelle sie wiedergiebt. Bei der Berechnung wurden einige der letzten Beobachtungen der Reihen in der Weise benutzt, dafs je eine bei 0 beobachtete Ablenkung mit dem Mittel der vorhergehenden und folgenden combinirt wurde und umgekehrt.

Tabelle 6.

| Stab *A*. | | Stab *B*. | | Stab *C*. | |
|---|---|---|---|---|---|
| Reihe | $\frac{M_0 - M_{100}}{M_0}$ | Reihe | $\frac{M_0 - M_{100}}{M_0}$ | Reihe | $\frac{M_0 - M_{100}}{M_0}$ |
| I | $\frac{1}{10,85}$ | IV | $\frac{1}{9,02}$ | VIII | $\frac{1}{16,79}$ |
| II | $\frac{1}{10,61}$ | V | $\frac{1}{10,04}$ | IX | $\frac{1}{12,18}$ |
| III | $\frac{1}{10,53}$ | VI | $\frac{1}{10,84}$ | X | $\frac{1}{12,78}$ |
| | | VII | $\frac{1}{15,14}$ | | |

| Stab D. | | Stab E. | |
|---|---|---|---|
| Reihe | $\frac{M_0 - M_{100}}{M_0}$ | Reihe | $\frac{M^0 - M_{100}}{M_0}$ |
| XI | $\frac{1}{4,74}$ | XV | $\frac{1}{9,41}$ |
| XII | $\frac{1}{4,91}$ | | |
| XIII | $\frac{1}{5,06}$ | | |
| XIV | $\frac{1}{5,39}$ | | |

Läfst man aus einem sogleich anzuführenden Grunde die Reihe VII weg und berücksichtigt, dafs wegen des geringen Magnetismus die Reihe VIII wenig Beachtung verdient, so kann man mit Wahrscheinlichkeit den Satz aussprechen:

*Der Verlust, welchen ein constant gewordener Stab beim Erhitzen von* 0 *auf* 100 *erleidet, ist seinem Magnetismus bei* 0*, gleichviel wie stark derselbe sey, proportional.*

Nebenbei zeigt sich aber, dafs bei Stab *A* für stärkere Magnetismen die Quotienten sich vergröfsern, während sie bei *B*, *C* und *D* in demselben Falle kleiner werden. Wie oben erwähnt, sind *B*, *C* und *D* von derselben Sorte, *A* dagegen von einer anderen, woraus man auf ein etwas verschiedenes Verhalten je nach der Sorte schliefsen könnte.

2. Den Einflufs des Querschnitts der Stäbe kann man nach diesen Versuchen nur höchst unvollständig beurtheilen. Zur genauen Untersuchung dieser Frage habe ich die Beobachtungsmethode verändert und eine andere Vorrichtung hergestellt. Leider scheint es aber fast unmöglich in diesem Sommer Eis zu beschaffen, so dafs ich mich entschlossen habe, diese wünschenswerthe Vervollständigung auf später zu verschieben.

Die Versuche zeigen einen gleichen Quotienten (Tab. 6) für die Stäbe *A* und *B*, welche einen merklich verschiedenen Querschnitt (Verhältnifs nahe 2:3) haben, dagegen

einen etwas verschiedenen Quotienten für die Stäbe *B* und *C* von fast gleichem Querschnitt.

3. Für die Erkennbarkeit des Einflusses der Länge gilt dieselbe Bemerkung, welche eben über den Querschnitt gemacht wurde. Für jetzt will ich nur constatiren, dafs der Stab *D*, obwohl er nur halb so lang und von demselben Stück war wie *B*, aller vorgefafsten Meinung widersprechend einen doppelt so grofsen Verlust für dieselbe Temperaturänderung zeigt wie *B*. Stab *E*, viermal kürzer als *B*, zeigt den Quotienten $\frac{1}{9,41}$. Doch ist diese Bestimmung unverwendbar, weil die tiefere Temperatur 9° C. betrug. Diefs fordert aber dazu auf, den Einflufs der Gröfse der angewendeten Temperaturdifferenz besonders zu untersuchen.

4. Vor der Reihe VII war der Stab *B* ausgeglüht, und darauf durch den Strom magnetisirt worden. Dem Temperaturwechsel ausgesetzt, lieferte er den Quotienten $\frac{1}{15,14}$. Daraus ergiebt sich, dafs ein weicher constanter Stab relativ weniger Magnetismus verliert, als ein harter. Denn bei dem harten Stab *B* sind in den Reihen IV, V und VI bez. die Quotienten

$$\frac{1}{9,02} \quad \frac{1}{10,04} \quad \frac{1}{10,84}$$

gefunden worden.

5. Wie oben erwähnt, fand Wiedemann die Abnahme des Magnetismus beim ersten Temperaturwechsel nicht ganz dem ursprünglichen Magnetismus proportional und erklärte diefs aus der allmähligen Aenderung der Härte beim abwechselnden Erwärmen und Erkälten. Um in dieser Richtung einen Anhaltspunkt zu gewinnen, war Stab *A* bevor er zu der Reihe I magnetisirt wurde, einem 14maligen Temperaturwechsel ausgesetzt worden. War hierdurch eine Aenderung der Härte eingetreten, so hatte der 14malige Wechsel hingereicht, den Stab für die Anwendung desselben Mittels unempfindlich werden zu lassen. Verursacht daher die ungleiche Härte auch eine Verschiedenheit der Quotienten bei erreichter Constanz, so müssen dieselben jetzt

gleich ausfallen. Man findet sie für Stab $A$ allerdings am besten übereinstimmend. Weiterhin sieht man sie bei den andern Stäben mit der Dauer der Versuche kleiner werden, was man der §. 5 sub. 4 gemachten Beobachtung anschliefsen könnte, wonach der Quotient für einen weichen Stab kleiner ist als für einen harten. Für die von Wiedemann untersuchten ersten Verluste finde ich aber keinen Einflufs der Härte, wie die folgende No. 6 ergiebt.

6. Fafst man die Verluste desselben Stabes bei verschiedenen Magnetisirungen für die nacheinander folgenden Temperaturwechsel zusammen, so sollte sich nach Wiedemann immer je der gleiche Quotient ergeben. Wie oben angedeutet, findet sich diefs bei den vorligenden Versuchen nicht recht bestätigt. Nach dem ersten Erwärmen und Erkälten beträgt nämlich der Verlust in Theilen des ursprünglichen Magnetismus bei 0

bei Stab $A$ $\frac{1}{3,96}$ $\frac{1}{4,55}$ $\frac{1}{5,15}$

» » $C$ $\frac{1}{6,47}$ $\frac{1}{4,70}$

» » $D$ $\frac{1}{2,63}$ $\frac{1}{5,54}$ $\frac{1}{3,58}$.

Ferner zeigen die Versuche, dafs keineswegs ein Stab, dem man nach einander die Magnetismen $M_{I}$ $M_{II}$ $M_{III}$ gegeben und jedesmal zur Constanz gebracht hat, dabei immer denselben procentischen Theil dieser ursprünglichen Magnetismen einbüfsen mufs.

Es ist hervorzuheben, dafs selbst bei Stab $A$ die Uebereinstimmung bei diesen ersten Verlusten so wenig befriedigt, obgleich dieser Stab in den einzelnen Reihen ohne merkliche Härteverschiedenheit gewesen seyn mufs. Es scheinen daher Nebeneinflüsse sich geltend zu machen, während das schliefsliche Verhalten nach dem oben unter 1. ausgesprochenen Satz eine weit befriedigendere Regelmäfsigkeit zeigt. Zu den Nebenumständen zähle ich Erschütterungen, welche beim Streichen nicht ganz zu vermeiden sind und eine raschere Abnahme des Magnetismus zur Folge

haben, indem sie der Wärme einen Theil der Arbeit ersparen.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen könnte man auf den Gedanken verfallen, von der Theorie Ampère's auszugehen. Nimmt man die Molecularströme nicht als Fiction sondern als wirklich vorhanden an, so mufs man ihnen eine bestimmte Intensität zuschreiben, und diese mufs mit der Temperaturerhöhung sinken. Denn die Strombahn wird von Metalltheilchen gebildet, welche bei Erwärmung ihren Widerstand vergröfsern. Dagegen scheint kein Grund vorhanden, die elektromotorische Kraft der kleinen Ströme mit der Temperatur veränderlich anzunehmen. Bei der Erwärmung eines Magnets müfste nach dieser Theorie also sein Moment sinken. Diefs pafst dem Zeichen nach vortrefflich auf die Beobachtung. Weiter ist aber nöthig, dafs der wirkliche Betrag der Abnahme quantitativ bestimmt wird durch die Widerstandsveränderung der Leitung für die Temperaturen 0 und 100 C., wofür man nach einer Messung von Mousson (N. Schweiz. Zeitschr. XIV S. 33) ein Maafs hat. Dagegen sprechen die vorliegenden Versuche aber entschieden. Schon der Coëfficient $\frac{1}{10}$ pafst nicht, noch weniger das Variiren derselben mit der Länge. Auch die folgenden Versuche bei höheren Temperaturen erklären sich gegen die Hypothese.

8. Wiedemann hat bekanntlich angefangen, diese Erscheinungen mit vielen andern auf mechanische Principien zurückzuführen. (Ann. Bd. 106 S. 193). Diefs gelang besonders befriedigend bei den Beziehungen zwischen Magnetismus und Torsion. Weniger gut liefsen sich, wie er selbst zugiebt, die Erscheinungen bei Wärmeveränderungen in die Einzelheiten hinein verfolgen. Nach ihm wirkt die Wärme auf zwei Arten. Zuerst erschütternd, wodurch eine dauernde Abnahme des Magnetismus erfolgt, darauf noch lockernd, wodurch der vorübergehende Verlust erklärt wird.

Obgleich ich diese Unterscheidung in den Wirkungen

der Wärme nicht für erforderlich halte, glaube ich doch Wiedemann's Ansicht richtig zu verstehen, wenn ich die Erscheinungen bei erreichter Constanz etwas ausführlicher so erkläre.

Höchst wahrscheinlich dehnt sich jeder, auch unmagnetische Stab, der zum ersten Mal erwärmt wird, nicht auf dieselbe Art aus wie bei öfterem Erwärmen und Erkälten [1]. Dieser Wechsel wird vielmehr, ähnlich wie eine öftere Torsion und Detorsion, den Stab auch in Bezug auf die Ausdehnung und die damit verbundene jedesmalige Lage der Molecüle einer doppelten Gleichgewichtslage aller Theile entgegen führen, welche jedesmal bei 0 und bei 100 C. von denselben eingenommen wird. (In diesem Zustande mufs sich bei den beschriebenen Versuchen Stab *A* vor der Reihe I befunden haben. Diefs kann aber hier nichts helfen, weil bei seiner Magnetisirung wieder eine Drehung der Molecüle eintrat und die Gleichgewichtslagen vernichtet wurden). Bei einem magnetischen Stab treten also deshalb bei 0 und bei 100 verschiedene Magnetismen auf, weil sich die Molecüle dann in je einer der Gleichgewichtslagen befinden. — Die Details der Erscheinung hoffe ich genügend bei Mittheilung anderer Versuche, welche noch mehrmals vorgreifend erwähnt werden, abzuleiten.

9. Wirkt die Wärme auflockernd, so dafs die Theilchen den gerade wirksamen Kräften besser folgen können, so mufs ein Stab bei höherer Temperatur einen gröfseren temporären Magnetismus zeigen. Hierüber habe ich eine Versuchsreihe angestellt, welche ich mir ganz mitzutheilen erlaube, damit der Leser im Stande sey, das Sinken des Stromes während der langen Dauer des Versuchs selbst in Anschlag zu bringen. Die Spirale hatte eine Länge von 220$^{mm}$ und das oben beschriebene Zinkrohr war durch sie hindurchgesteckt. Die benutzten Zinkkohlen-Elemente waren schon mehrfach gebraucht worden. Die Zahlen sind

1) Hierüber fehlen Versuche, obwohl der Gegenstand für die Compensation von Pendeln z. B. auch praktisches Interesse hat.

die am Faden beobachteten Scalentheile selbst im Mittel von drei Elongationen.

Mir scheint das Ergebnifs diese Folgerung aus Wiedemann's Ansicht zu rechtfertigen.

Denn läfst man die ersten Beobachtungen, welche natürlich hier unbrauchbar sind, weg, so findet sich durchschnittlich der Magnetismus bei 100 C. gröfser als bei der vorhergehenden Beobachtung bei 0. Aus zwei Gründen sollte es aber umgekehrt seyn:

*a*) Weil die Kraft der Elemente inzwischen abgenommen hatte,

*b*) Weil die Stromstärke wegen der Erwärmung der Spirale bei 100 C. immer etwas geringer seyn mufste als bei 0.

Ruhelage 511,17. Strom allein 584,45. $11^h 13^m$.

Magnet mit Strom.

| Zeit | 0 | Zeit | 100 | Zeit | 0 | Zeit | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 720,85 | $11^h 20^m$ | 741,95 | $12^h 7^m$ | 694,17 | | 696,40 |
| $11^h 23^m$ | 735,15 | 27 | 738,73 | | 689,68 | $12^h 18^m$ | 691,53 |
| 29 | 728,03 | 35 | 726,42 | | 686,70 | 27 | 686,89 |
| | 716,58 | 41 | 717,50 | 30 | 683,80 | 34 | 684,48 |
| | 706,95 | 51 | 706,32 | 37 | 679,80 | | |
| 54 | 699,40 | 59 | 700,50 | | | | |
| | 694,91 | | | | | | |

Unmittelbar nachher Ruhelage 511,25, Strom allein 552,36.

Der aus der Spirale gezogene Stab wurde in seinem Zustand gelassen und mit ihm die obige Reihe VII angestellt.

10. Der Stab *D* war bei der Reihe XIII in demselben Zustand, in welchen ihn die Reihe XII versetzt hatte; nur lag er dem Spiegel näher. Er wurde dann 16 Mal immer zur Sättigung mit zwei starken Magneten umgestrichen, um zu erfahren, ob dadurch den Molecülen eine gröfsere Beweglichkeit verliehen werden könnte. Indessen bietet die Reihe XIV nichts Bemerkenswerthes dar.

11. Es verdient vielleicht Erwähnung, dafs die obigen Reihen, wegen ihrer theilweisen Vollständigkeit, geeignet

sind, die Abnahme des Magnetismus genauer mit mechanischen Erscheinungen zu vergleichen. Auch mufs die Beobachtung hervorgehoben werden, dafs beim Einleiten des kalten Wassers in das heifse Rohr der Magnetismus anfangs erstaunlich schnell ansteigt. Man wird deshalb den peripherischen Theilen des Magnets eine gröfsere Rolle zuschreiben können. In der That habe ich mich durch später zu beschreibende Versuche überzeugt, dafs bei harten Stäben die Oberflächenschicht ansehnlich stärker magnetisirt ist, und erst nachher sich der Magnetismus der Masse proportional zeigt bis ins Innere. Bei weichen Stäben ist diefs letztere im Allgemeinen von Anfang an der Fall.

12. Zu einer Vergleichung magnetischer Erscheinungen mit mechanischen Vorgängen, namentlich der elastischen Nachwirkung, können auch folgende Versuche dienen, welche ich mir schliefslich beizufügen erlaube. Sie betreffen die allmähliche Abnahme des Magnetismus bei harten und weichen Stäben. Die Stäbe waren fast gleich in ihren Dimensionen (100$^{mm}$ lang, der quadratische Querschnitt von 8$^{mm}$,7 Seite) und aus demselben Stücke englischen Gufsstahls verfertigt. Die Stäbe *a* und *b* waren ausgeglüht, *c* und *d* aber glashart und alle in gleicher Weise durch den Strom magnetisirt.

Die folgende Tabelle giebt die anfänglichen Magnetismen, darauf unter dem Strich die nach einer vorgenommenen Erschütterung gebliebenen und ihre Abnahme mit der Zeit. Die horizontale Intensität ist dabei als constant angenommen.

| Epoche | a | b | c | d |
|---|---|---|---|---|
| 1863. April. | 207,99 | 200,18 | 228,33 | 183,44 |
| 21d 4h 15m | 134,06 | | | |
| 35 | | 180,01 | | |
| 39 | | | 210,95 | |
| 45 | | | | 174,10 |
| 50 | 134,70 | | | |
| 55 | | 179,59 | | |
| 5h 0 | | | 209,55 | |
| 4 | | | | 172,63 |
| 6 32 | 135,16 | | | |
| 36 | | 179,80 | | |
| 37 | | | 202,78 | |
| 41 | | | | 167,50 |
| 9 33 | 134,84 | 179,70 | | |
| 42 | | | 196,33 | 161,79 |
| 20 40 | 135,71 | 180,11 | 187,17 | 155,51 |
| 22 5 12 | 135,24 | 179,53 | 183,08 | 151,90 |
| 24 3 30 | 135,88 | 178,88 | 175,15 | 146,05 |
| 26 6 0 | 135,79 | 178,08 | 170,15 | 141,69 |
| 28 6 0 | 135,76 | 178,13 | 166,88 | 139,55 |
| 30 19 0 | 135,66 | 177,08 | 164,27 | 136,15 |

Temperatureinflüssen sind die Stäbe nicht unterworfen gewesen, da die Temperatur im Beobachtungslocal nur 1°,5 C. in dieser Zeit geschwankt hat. Stellt man die Ergebnisse dieser Tabelle graphisch dar, so übersieht man sofort, dafs die weichen Stäbe constant blieben, während die harten auch nach längerer Zeit noch erhebliche Verluste erlitten haben. Bei ihnen sind die Verluste anfangs sehr grofs und werden erst allmählich kleiner. Es ergiebt sich daraus, wie wenig ein glasharter Stab bald nach der Magnetisirung zur Benutzung geeignet ist, auch wenn man ihn erst erschüttert hat, dafs dagegen weiche Stäbe, wo es auf Constanz ankommt, sich mehr empfehlen.

Ich wende mich nun zu den übrigen Versuchen, welche dem temporären Magnetismus bei sehr hohen Temperaturen gelten.

II. Der temporäre Magnetismus bei sehr hohen Temperaturen.

§. 6.

Die eben beschriebenen Experimente legten es nahe, zu höheren Temperaturen überzugehen. Man findet über

diesen Gegenstand Versuche von Barlow aus den zwanziger Jahren, welche den von der Erde in glühenden Stäben inducirten Magnetismus durch einen unter die Stäbe gestellten Compafs zu messen erlaubten. Barlow's Absicht war, die relative Coërcitivkraft verschiedener Sorten zu ermitteln und seine Stäbe hatten daher dieselben Dimensionen. Diefs ist bei den von mir angewendeten leider nicht der Fall gewesen, weil ich jene Arbeiten erst später nachgelesen habe. Indessen wird sich doch in mancher Richtung eine Vergleichung anstellen lassen, wenn auch meine Versuche andern Punkten gelten. Die von mir gebrauchte Methode war selbstverständlich unendlich feiner, als die Barlow's, weil ich die Spiegelablesung anwenden konnte. Auch benutzte ich nicht die schwache Induction der Erde, sondern den electrischen Strom.

Die magnetisirende Spirale lag in derselben Weise wie vorher gegen den abzulenkenden Magnet. Sie war von dem Eisenkern eines im Institut vorhandenen Electromagnets abgezogen und hatte bei einer Länge von 220$^{mm}$ 5 Lagen eines 2$^{mm}$ dicken und mit Baumwolle und Seide übersponnenen Kupferdrahts, welcher auf eine Messinghülse von 38$^{mm}$ Durchmesser aufgewickelt war. In diese Spirale wurden die glühenden Stäbe genau in die Mitte eingeschoben. Die Befestigung geschah auf folgende Art. In eine Holzleiste schlug ich Messingnägel sicher ein und verknüpfte ihre Köpfe durch Messingdraht, welcher ein hängendes aber steifes Drahtseil zwischen ihnen bildete. Auf diese Seile kam der glühende Stab zu liegen. Das Hölz rauchte und fafste Flamme, doch liefs sich diese ausblasen und fast ganz vermeiden, wenn man das angekohlte Brett vorher befeuchtet hatte. Neben dem Beobachtungslocal, welches die Werkstätte des Cabinets ist, befindet sich die Schmiede. In dieser machte ich die Stäbe glühend und hatte sie also nicht weit zu tragen.

§. 7.

Die untersuchten Stäbe hatten alle nahezu die Länge von 150$^{mm}$ und waren von 4 Sorten. Der erste aus Rund-

eisen war Schmiedeeisen, der zweite englischer Gyfsstahl (der vorher beschriebene Stab *D*), der dritte ein Stück Gufseisen aus einem alten Ofenrost von der Gestalt eines Keils mit abgestumpfter Schneide und von schwarzem erdigem Ansehen auf der Bruchfläche, der vierte endlich das Mittelstück eines Mörserstöfsers, welches durch Abschlagen der Knöpfe erhalten wurde. Der Bruch an diesem Stücke war feinkörnig und von hellgrauer Farbe. Die beiden Gufseisen sollen als erstes und zweites bezeichnet werden.

Der Versuch geschah in folgender Weise. Nachdem ich in der Schmiede das Feuer angeblasen und das Eisen eingesetzt hatte, bestimmte ich die Ruhelage des Magnets und liefs sodann den Strom die Spirale durchfliefsen, um seine Wirkung allein zu bestimmen. Hierbei notirte ich zugleich die Zeit nach einer Taschenuhr. Während der Strom nun geschlossen blieb, begab ich mich in die Schmiede zurück und brachte den Stab zur Weifsglühhitze. Sodann bestimmte ich noch einmal die Ablenkung der Spirale allein. Hierauf fafste ich den Stab mit der am Ende ebenfalls glühend gemachten Zange und legte ihn auf das vorhin beschriebene Lager um ihn so schnell als möglich in die Spirale einzuschieben. Im Vorbeigehen hatte ich ein an der Wand hängendes kleines Metronom von Brandegger aufgezogen, nach dessen Schlägen ich meist beobachtet habe.

Vor dem Fernrohr konnte ich darauf immer einige Zeit warten, ehe sich die geringste Bewegung des Magnets einstellte. Im Moment wo diefs geschah zählte ich Null (wenn diefs nicht schon beim Einschieben geschehen war, wie man in den einzelnen Versuchen sehen wird), und schrieb nun für bestimmte Schläge des Metronoms die Scalentheile auf, welche der Faden gerade passirte. Diefs ist mir nur durch die im Anfang beschriebene Beruhigungsmethode möglich gewesen. Sie erlaubt, wenn sie mit einiger Uebung gehandhabt wird, jedes Schwingen des Magnets aufzuheben und man überzeugt sich bei der gleichzeitigen Betrachtung der Scala, dafs der Magnet viel pünktlicher gehorcht, als

man diefs bei einem gröfseren schwingenden Körper durch Beruhigen mit einem Haarpinsel erreichen kann. Da die genaue Bestimmung sehr hoher Temperaturen grofse Schwierigkeit hat, so habe ich mich begnügt nur annähernd die Temperatur zu ermitteln, bei welcher das Eisen magnetisch zu werden anfängt. Durch Ablöschen in Wasser fand ich diese Temperatur zu 1000 C. doch kann die Zahl um einige Gradzehnte falsch seyn, was bis jetzt aber auch gleichgültig erscheint.

Der Umstand, dafs der Stab anfangs immer ganz unmagnetisch war bürgt dafür, dafs die Weifsglühhitze erreicht wurde. Bei einem Versuch ist mir das Gufseisen zerschmolzen.

§. 8.

Hier folgen jetzt die Beobachtungsreihen und zwar für jeden Stab eine, obwohl ich mehrere angestellt habe, um mich vor Irrthümern zu sichern. Nachdem ich vorhin den Verlauf der Versuche beschrieben habe, wird man die Tabelle ganz verstehen. Ein Sternchen bei der Zeitangabe soll bedeuten, dafs die Bewegung anfängt, ein Sternchen mehr, dafs sie rascher wird.

Weiches Schmiedeeisen.

| Ruhelage | Spirale allein | Taschenuhr | Metronom 78 Schläge in 1 Minute | Scalentheil am Faden |
|---|---|---|---|---|
| 511,5 | 662,1 | 5h 39m | | |
| | 660,9 | 6 3 | | |
| | | | 50* = 0* | |
| | | | 36** | |
| | | | 100 | 857 |
| | | | 140 | 857 |
| | | | 200 | 856,5 |
| | | | 260 | 854,5 |
| | | | 300 | 853,8 |
| | | 6 12 | 400 | 851,8 |
| | | 14,5 | | 848,5 |
| | | 17,0 | | 47,0 |
| | | 19,0 | | 46,2 |
| | | 24,0 | | 45,0 |
| | | 27,5 | | 44,7 |
| | | 29,0 | | 44,5 |
| | | 32,5 | | 44,0 |

Englischer Gufsstahl.

| Ruhelage | Spirale allein | Taschenuhr | Metronom 78 Schläge in 1 Minute | Scalentheil am Faden |
|---|---|---|---|---|
| 508,1 | 669,7 | 5h 13m | | |
| | 669,5 | 19 | | |
| | | | 0* | |
| | | | 18** | |
| | | | 40*** | |
| | | | 130 | 778 |
| | | 5 24 | 220 | 782 |
| | | 25 | | 783,5 |
| | | 27 | | 783,4 |
| | | 30* | 0* | |
| | | | 30 | 784,4 |
| | | | 70 | 786 |
| | | | 110** | 790 |
| | | | 140 | 797 |
| | | | 160 | 805 |
| | | | 190 | 817 |
| | | | 260 | 825 |
| | | 35 | 360 | 827,8 |
| | | | | Man kann den Stab ungestraft berühren |
| | | 37 | | 829,8 |
| | | | | constant |
| | 662,1 | 39 | | |
| | 661,9 | 45 | | |





## Erstes Gufseisen.

| Ruhelage | Spirale allein | Taschenuhr | Metronom fast halbe Sekunden | Scalentheil am Faden |
|---|---|---|---|---|
| 510,6 | | $5^h\ 19^m$ | | |
| | 700,2 | 21 | | |
| | 699,7 | 28 | | |
| | | | 0* | |
| | | | 30 | 710 |
| | | | 79 | 780 |
| | | | 84 | 794 |
| | | | 135 | 804 |
| | | | 190 | 809 |
| | | | 250 | 816 |
| | | | 300 | 14,5 |
| | | | 380 | 19,5 |
| | | | 420 | 22 |
| | | | 500 | 22,3 |
| | | | 600 | 23,2 |
| | | | 700 | 24,6 |
| | | | 900 | 27,5 |
| | | | 906* | |
| | | | 1000 | 36,8 |
| | | | 1100 | 41,0 |
| | | | 1200 | 42,7 |
| | | | 1300 | 43,4 |
| | | | 1400 | 44,0 |
| | | | 1500 | 44,3 |
| | | | 1600 | 44,5 |
| | | | 1700 | 44,5 |
| | | | 1800 | 44,6 |
| | | | 1900 | 44,7 |
| | | | 2000 | 44,6 |
| | | 5 51 | | |
| | 693,0 | 54 | | |





**Zweites Gufseisen.**

| Ruhelage | Spirale allein | Taschenuhr | Metronom fast halbe Sekunden | Scalentheil am Faden |
|---|---|---|---|---|
| 509,6 | | 5h 57m | | |
| | 665,6 | 6 2 | | |
| | 665,3 | 5 | 0* | |
| | | | 50 | 674,6 |
| | | | 137 | 720 |
| | | | 170 | 785 |
| | | | 260 | 820 |
| | | | 320 | 824,5 |
| | | | 400 | 827,0 |
| | | | 480 | 28,0 |
| | | | 550 | 28,0 |
| | | | 660 | 28,0 |
| | | | 700 | 29,0 |
| | | | 800 | 29,4 |
| | | | 900 | 29,1 |
| | | | 1000 | 29,0 |
| | | | 1100 | 28,4 |
| | | | 1200 | 28,2 |
| | | | 1300 | 28,1 |
| | | | 1400 | 28,0 |
| | | | 1500 | 28,0 |
| | | | 1600 | 28,0 |
| | | | 1700* | 29,1 |
| | | | 1800 | 32,0 |
| | | | 2000 | 33,4 |
| | | | 2200 | 33,3 |
| | | | 2500 | 30,0 |
| | 654,5 | 6 35 | | |

§. 9.

Diese Versuche bestätigen vor Allem, dafs Eisen und Stahl im weifsglühenden Zustand sich nicht magnetisch erregen lassen. Die naheliegende Vermuthung, ob sie in diesem Zustande sich diamagnetisch zeigen könnten, ist schon durch einen Versuch von Faraday verneinend entschieden worden. Weiter ergiebt sich aber Folgendes.

Ich beginne mit dem merkwürdigen Verhalten des Gufsstahls. Aus der betreffenden Tabelle ersieht man, dafs derselbe erst unmagnetisch ist, dann sehr rasch Magnetismus aufnimmt um bald auf einen fast stationären Punkt zu gelangen, auf welchem er geraume Zeit verweilt. Plötzlich beginnt dann der Magnetismus, wenn auch langsamer, wieder zu steigen und wird auf einem zweiten Punkt stationär, welchen er nicht wieder verläfst.

Während also die Temperatur continuirlich sinkt, zeigt sich die Coërcitivkraft, um das Wort zu brauchen, discontinuirlich und zwar beim Stahl zweimal. In geringem Grad ist diefs auch beim Gufseisen der Fall, wie man namentlich bei dem ersten Stück sieht. Bei allen Stäben aber, und diefs ist zu betonen, tritt die Erregung plötzlich ein und steigt mit Schnelligkeit bis zum endlichen Betrag an. Diefs ist das Hauptsächlichste, was die Versuche lehren und trifft auch beim weichen Eisen zu.

Man wird Nichts einwenden gegen die stillschweigend gemachte Voraussetzung, dafs die Stromstärke wegen Abnahme der Elemente *allmählich* gesunken sey. Sie mufste auch sinken wegen der Erwärmung der Spirale durch die Strahlung des glühenden Stabs. Plötzliche Wechsel können hierdurch aber niemals veranlafst worden seyn, da die Spirale nur langsam wegen der Umspinnung die Wärme annahm und dieselbe auch nur langsam verlor, weil ich sie von aufsen zur Schonung der Seide mit einer achtfachen Lage Papier umwickelt hatte.

§. 10.

Diese Erscheinungen bei sehr hohen Temperaturen kann

die Theorie unmöglich aufser Acht lassen. Sie wird namentlich das plötzliche Erregtwerden zu erklären haben.

Da die angewandte Methode mich als den Ersten, wie ich glaube, auf diese Verhältnisse hat aufmerksam werden lassen, so möge mir verstattet seyn noch einige Bemerkungen hinzuzufügen, obwohl ich weit davon entfernt bin mit denselben eine ganz ausreichende Erklärung geben zu wollen.

Wenn man sagt, im glühenden Zustand des Eisens ist die Coërcitivkraft am gröfsten oder unendlich, so ist damit nicht das Geringste erklärt. Es heifst nur, der Stab nimmt dann keinen Magnetismus an. Ueberhaupt bleibt die Coërcitivkraft nur ein Name für gewisse Erscheinungen, so lange man sie nicht im Sinne einer bestimmten magnetischen Hypothese begrifflich feststellt. Alsdann erst erwächst der Hypothese die Verpflichtung die betreffenden Erscheinungen zu erklären und man kann sie an dieser Aufgabe prüfen. Gehen wir daher die einzelnen Ansichten durch und halten sie mit den Erscheinungen bei sehr hohen Temperaturen zusammen.

1. Im Sinne der geschiedenen magnetischen Fluida bezeichnet die Coërcitivkraft den Grad der Unscheidbarkeit derselben. Welchen Grund man anführen könnte um die Scheidbarkeit im glühenden Zustand für unmöglich zu erklären, sehe ich nicht ab. Denn es handelt sich genau um diesen Punkt, weil die Spirale fortwährend ihre Scheidungskraft ausübt und keine Wiedervereinigung der geschiedenen Fluida gestatten würde, wie man sie beim einfachen Erhitzen eines Magnets annehmen könnte. Will man in Gedanken dieser doch fast aufgegebenen Theorie weiter nachgehen, so kann man zu Vorstellungen gelangen, welche sich unserer jetzigen Kenntnifs dieser Erscheinungen möglichst anschliefsen und sich durch Analogien stützen lassen. Sie sind aber nicht besser als die Ansicht Munke's von den Poren, durch welche beim Erhitzen der Magnetismus entweichen soll.

2. Für die Molecularströme Ampère's würde sich der

Widerstand der Strombahn fortwährend continuirlich vergröfsern, so dafs diese Hypothese zur Erklärung der Discontinuitäten und lange dauernden stationären Zustände nicht ausreichen dürfte. Bekanntlich hat sie auch die Erscheinungen der unipolaren Induction gegen sich.

3. Bei Annahme der drehbaren Molecularmagnete, wodurch so viele Erscheinungen befriedigend dargestellt werden, geräth man hier in Zwiespalt mit fester stehenden Thatsachen. Die Coërcitivkraft mufs jetzt ihren Grund in den Widerständen haben, welche die Molecüle bei ihrer Drehung erfahren. Nun erhöht aber die Wärme offenkundig die Beweglichkeit und ich habe oben §. 5 sub 9 selbst einen Versuch beschrieben, nach welchem deshalb bei höherer Temperatur auch gröfserer temporärer Magnetismus aufzutreten scheint. Demnach müfste im glühenden Zustand der temporäre Magnetismus sich im Maximum zeigen, keinesfalls aber wäre meines Erachtens eine Muthmafsung vorhanden wonach ein so plötzliches Ende eintreten sollte.

4. Hoffnungsreicher ist dem Anschein nach die Annahme von Schwingungen, welche die Molecüle im magnetischen Zustand hauptsächlich nach einer Richtung vollführen und dadurch die Polarität bestimmen. Hier wäre es eher denkbar, dafs die höhere Temperatur diesem Spiele der Kräfte bei niederen Graden ein Ziel setzte. Ich habe den Versuch gemacht durch die spectrale Analyse des Lichts, welches von glühendem Eisen ausgesendet wird, hierüber eine Andeutung zu erhalten, konnte aber mit dem kleinen Apparat, wie der mir zu Gebote stand, nichts Charakteristisches wahrnehmen.

§. 11.

Meines Erachtens rechtfertigt das Vorstehende die Behauptung, dafs keine der magnetischen Hypothesen im Stande ist, die Erscheinungen des temporären Magnetismus und namentlich sein plötzliches Auftreten bei einer bestimmten Temperatur des glühenden Eisens zu erklären. Selbst die Theorie der Molecular-Magnete versagt den Dienst.

Es giebt aber eine Anschauung, welche das Hypothe-

tische auf ein fremdes Gebiet überträgt und dabei die Theorie der Molecular-Magnete der Verpflichtung enthebt, von diesen Erscheinungen Rechenschaft zu geben. Es scheint mir wünschenswerth, der genannten Theorie, welche bereits so Vieles erklärt hat, diesen Dienst leisten zu können und ich möchte die folgende Ansicht sogar für geeignet halten, der Vorstellung von den Molecular-Magneten eine materielle Grundlage zu geben.

Man kann nämlich vermuthen, dafs das Metall Eisen mit seinen merkwürdigen Eigenschaften bei der hohen Temperatur eine innere Umwandlung erfährt. Kurz, ich halte dafür, dafs das Eisen bei gewöhnlicher Temperatur eine binäre Atomgruppe ist und als (Fe + Fe) existirt und dafs dieser binäre Charakter mit seinem magnetischen Verhalten zusammenhängt. Bei sehr hoher Temperatur tritt die Trennung der Doppelatome ein und der Magnetismus hört auf. Diefs wird bei einem bestimmten Punkt geschehen; ebenso bei sinkender Temperatur die Wiedervereinigung. Das Auftreten des Magnetismus sieht sich im Fernrohr auch gerade so an, wie wenn ein chemischer Procefs sich durch eine compacte Masse energisch fortpflanzt. Man denke an die Bildung von Schwefeleisen. Wenn sich die Doppelatome getrennt haben, so befindet sich das Eisen im *status nascens* und ich glaube keinen Einwand von Seiten der Chemie besorgen zu müssen, wenn ich die Zerlegung des Wassers durch glühendes Eisen für die Vermuthung anführe. Auch die Schweifsbarkeit würde durch eine solche Vorstellung begreiflich.

Es bleibt mir noch übrig, die doppelte Discontinuität beim Stahle zu erwähnen.

Oben sind Experimente erwähnt, welche mir über die Vertheilung des Magnetismus im Innern der Körper Aufschlufs gegeben haben. Ich werde dieselben erst später genauer beschreiben und entnehme ihnen hier nur folgende Beobachtung.

Das Verfahren bei jener Arbeit bestand darin, dafs ich den Magnet nach und nach in Salpetersäure löste. Hier-

bei habe ich gefunden, dafs der Kohlengehalt des weichen Gufsstahls in Form von Graphit auf der Oberfläche des Stabs zurückbleibt, so dafs die Finger beim Abwischen des Stabs das Ansehen erhalten, als habe man viele Bleistifte gespitzt. Der abgewischte Stab zeigt ein schönes Silbergrau und seine Auflösung in der Säure ist nur mit einer spärlichen Gasentwickelung begleitet. Wenn der Gufsstahl aber gehärtet ist, so löst er sich unter reicher Gasentwickelung, die Flüssigkeit wird braun, der Stab erhält ein sammetschwarzes Ansehen und von Graphit ist Nichts mehr wahrzunehmen. Hieraus folgt die interessante, schon von Karsten beobachtete aber dem Anschein nach nicht jedem Physiker bekannte Thatsache, dafs man bei gehärtetem Stahl chemisch einen andern Körper unter den Händen hat, als bei weichem, und dafs die verschiedenen Härtegrade von dem Maafs bedingt werden, in welchem dieser chemische Procefs vorgeschritten oder durch Anlassen redressirt worden ist. Der Kohlenstoff nämlich, welcher als Graphit ausgeschieden wird, war mit dem Eisen nicht chemisch verbunden, er wird es aber beim Härten wie man an der reichlichen Gasentwickelung sieht und welche daher kommt, dafs der Kohlenstoff nun mit dem Wasserstoff entweicht.

An diese Verhältnisse habe ich denken müssen, als ich beim Stahl den Magnetismus, nachdem er lange stationär gewesen, plötzlich wieder ansehnlich zum zweiten Mal steigen sah. Ich habe darüber noch keine klare Ansicht, halte es aber für wahrscheinlich, dafs der Kohlentoffgehalt bei dieser Temperatur einen weiteren chemischen oder krystallographischen Vorgang einleitet, welcher beim Gufseisen in geringem Maafs ebenfalls erkennbar ist und nur beim Schmiedeeisen unterbleibt.

## Anhang.

### Die Beruhigungsmethode.

Das einfache Princip besteht in Folgendem. Man legt in einiger Entfernung vor den Spiegelmagnet eine ganz

beliebige Drahtspirale, deren Axe von Ost nach West gerichtet ist, und schickt durch sie einen Strom jedesmal in der Richtung, dafs dadurch die Bewegung des Magnets gehemmt wird.

Um zu einer bequemen Handhabung zu gelangen, schlug ich in ein Brettchen drei Nägel, so dafs sie die Eckpunkte eines gleichschenklichen Dreiecks bildeten. Die Nägel an der unten und horizontal gedachten Basis waren klein, der Nagel an der Spitze aber einer der gröfsten Drahtstifte. Dieser war auf der Rückseite des Brettchens vernietet und und vor der Brettfläche sogleich rechtwinklich gebogen, so dafs er die Richtung der Höhe im Dreieck hatte. Er war aber länger und unterhalb der Basis des gedachten Dreiecks abermals rechtwinklich und jetzt nach vorn gebogen, damit sein Kopf als Griff diente. Das Loch, wodurch der Nagel ging, also die Spitze des Dreiecks, war erweitert und man konnte ihn bequem darin drehen und nach Belieben ihn mit dem einen oder dem andern Basisnagel in Contact bringen. Liefs man den Griffel, wie ich ihn nennen will los, so hing er vermöge der Schwere sogleich mitten zwischen den Basisnägeln herab ohne einen davon zu berühren.

Diese einfache in einer Viertelstunde hergestellte Vorrichtung diente als Commutator und war am Stativ des Fernrohrs oder an dem Bein eines nahestehenden Tisches befestigt. Als Stromerreger wurden zwei mit angesäuertem Wasser wenig gefüllte Zinkkohlen-Elemente gebraucht. Der Zinkpol des einen und der Kupferpol des anderen waren jeder mit einem Basisnagel durch einen feinen blanken Draht durch Aufwickeln desselben auf den Nagel verbunden. Die zwei noch übrigen Pole waren mit einander und dann mit dem einen Ende der Drahtspirale verknüpft. Das andere Ende derselben führte zum Griffel.

Es ist klar, dafs die Spirale dann in entgegengesetzter Richtung vom Strom durchflossen wurde, wenn man mit dem Griffel an den einen oder den andern Basisnagel anschlug. Der Strom rührte aber einmal vom ersten und

das zweite Mal vom zweiten Element her. Diefs erhöhte die Bequemlichkeit des Gebrauchs ungemein, weil man die Elemente verschieden stark machen und so mit beiden zuerst aus dem Groben und dann mit dem schwachen aus dem Feinen beruhigen konnte. Durch die Entfernung der Spirale vom Magnet hat man die Gröfse ihrer Wirkung vollständig in der Hand, wird sie aber natürlich in den nöthigen Gränzen halten.

Die Vorzüge dieser Beruhigungsmethode finde ich vor Allem in dem augenblicklichen und ganz in die Hand und das Auge gelegten Erfolg, wie man sich leicht überzeugen wird, wenn man es einmal probiren will. Weiterhin braucht man nur den Griffel mit der rechten Hand loszulassen ohne dafs das Auge das Ocular verläfst und er begiebt sich von selbst zur Ruhe. Man hat keinen Magnet wegzutragen oder senkrecht zu stellen.

Der häufige Gebrauch hat mich mit dieser einfachen Methode sehr befreundet und von ihrem practischen Werth überzeugt. Vielleicht verdient auch Berücksichtigung, dafs sie an den Metalltheilen des Apparats wesentliche Ersparnisse erlaubt, weil sie den Dämpfer unnöthig macht.

Um sie zu empfehlen führe ich an, dafs man mit ihrer Hülfe bequem in 32 Minuten fertig wird, wenn man zur Bestimmung der horizontalen Intensität die ablenkende Kraft eines Stabes in vier Entfernungen auf jeder Seite, mit jedesmaliger Umkehr, also im Ganzen 16 Ablenkungen mit den zwei Ruhelagen am Anfang und Ende beobachten will.

Marburg im Juni 1863.

## III. *Ueber die moleculare Beweglichkeit der Gase; von Thomas Graham.*

(*Proceedings of the Roy. Society, Vol. XII, p.* 611).

Die moleculare Beweglichkeit der Gase wird hier hauptsächlich in Bezug auf den unter Druck erfolgenden Durchgang der Gase durch eine dünne poröse Platte oder Scheidewand, sowie auf die dadurch zu bewirkende theilweise Trennung gemischter Gase betrachtet. Die Untersuchung entsprang aus einer erneuten und etwas erweiterten Erforschung der Diffusion der Gase (die auf derselben molecularen Beweglichkeit der Gase beruht) und lieferte gewisse neue Resultate, die sowohl in theoretischer, als in practischer Hinsicht von Interesse seyn werden.

Bei dem anfangs construirten Diffusiometer war eine offene cylindrische Glasröhre von etwas unter einem Zoll im Durchmesser und ungefähr 10 Zoll in Länge einfach verschlossen an einem Ende durch eine poröse Gypsplatte von etwa einem Drittelzoll Dicke, so dafs sie einen Gas-Recipienten darstellte [1]). Ein vorzüglicheres Material für die poröse Platte ist nun in dem künstlich comprimirten Graphit des Hrn. Brockedon, wie es zu Bleistiften benutzt wird, aufgefunden worden [2]). Diefs Material wird in London in kleinen cubischen Massen von etwa 2 Quadratzoll Basis verkauft. Mittelst einer Stahlsäge läfst sich ein Cubus leicht in Blättchen von 1 oder 2$^{mm}$ Dicke zerschneiden. Durch trocknes Reiben einer solchen Platte auf einem flachen Sandstein kann man ihre Dicke etwa bis auf 0,5$^{mm}$ verringern. Eine runde Scheibe von diesem Graphit, welche so dick wie eine Oblate war, aber bedeutende Fe-

1) *On the law of the diffusion of gases* (*Transact. of the Roy. Society of Edingburgh Vol. XII p.* 222 oder *Phil. Magazine* 1834 *Vol. II p.* 175, 269 u. 351. — Auch diese Ann. Bd. XXVII, S. 331).

2) Im Herbste 1862 hatte ich selbst das Vergnügen die ausgezeichnete Wirkung einer solchen Graphitplatte bei Hrn. Graham zu sehen. P.

stigkeit besafs, wurde mittelst Harzkitt auf das eine Ende der oben beschriebenen Röhre befestigt, so dafs dieselbe verschlossen war, und ein Diffusiometer darstellte. Die Röhre wurde über Quecksilber mit Wasserstoffgas gefüllt und die Graphitplatte um ihrer Porosität entgegen zu wirken, einstweilen mit einem dünnen Stück Guttapercha dicht bedeckt. Als darauf das letztere fortgenommen ward, trat sogleich durch die Poren des Graphits eine Gasdiffusion ein. Innerhalb 40 Minuten oder einer Stunde hatte alles Wasserstoffgas die Röhre verlassen, ersetzt durch eine viel kleinere Menge (etwa ein Viertel) atmosphärischer Luft, wie nach dem Gesetz der Gasdiffusion zu erwarten stand. Während dieses Processes steigt das Quecksilber in der Röhre, wenn man es zuläfst, und bildet eine Säule von mehren Zollen in Höhe, eine Thatsache, durch welche die Intensität der Kraft, mit welcher verschiedene Gase sich gegenseitig durchdringen, schlagend darthut. Der natürlich vorkommende Graphit ist von blättriger Structur und scheint wenig oder keine Porosität zu besitzen. Es kann den künstlichen Graphit als Diffusions-Scheidewand nicht ersetzen. Am nächsten zu diesem Zweck kommt dem Graphit unglasurte Thonwaare.

Die Poren des künstlichen Graphit scheinen in der That so klein zu seyn, dafs das Gas in Masse gar nicht durch die Platte dringen kann. Es scheinen nur Molecüle hindurch gehen zu können, und von diesen ist anzunehmen, dafs sie dabei gar nicht durch Reibung behindert werden, denn die kleinsten Poren, die man sich als vorhanden im Graphit denken kann, müssen Tunnels an Gröfse gegen die letzten Atome eines gasförmigen Körpers seyn. Die einzige bewegende Kraft dabei scheint jene innere Bewegung der Molecüle zu seyn, welche gegenwärtig allgemein als eine wesentliche Eigenschaft des Gaszustandes der Materie angesehen wird.

Zufolge der jetzt allgemein angenommenen physikalischen Hypothese [1]) besteht ein Gas aus starren und vollkommen

1) D. Bernoulli, J. Herapath, Joule, Krönig, Clausius, Clerk

elastischen sphärischen Theilchen oder Atomen, welche sich in allen Richtungen bewegen und in verschiedenen Gasen mit verschiedenen Geschwindigkeiten begabt sind. Eingeschlossen in einem Gefäfse stofsen die sich bewegenden Theilchen beständig gegen die Seiten desselben und zuweilen gegeneinander und wegen der vollkommenen Elasticität der Theilchen, findet bei diesen Stöfsen kein Verlust an Bewegung statt. Ist nun das Gefäfs poröse, wie ein Diffusiometer, so wird das Gas vermöge dieser atomistischen Bewegung durch die offenen Canäle getrieben und entweicht. Zugleich wird die Luft oder das äufsere Gas, welches es auch sey, auf dieselbe Weise einwärts geführt und es nimmt die Stelle des Gases ein, welches das Gefäfs verläfst. Aus derselben Atom- oder Molecularbewegung entspringt die elastische Kraft, vermöge welcher die Gase der Compression widerstehen. Die moleculare Bewegung wird durch Wärme beschleunigt und durch Kälte verzögert, indem die Spannung des Gases im ersten Fall erhöht und im andern vermindert wird. Selbst wenn das Gas sowohl innerhalb als aufserhalb des Gefäfses befindlich, also mit beiden Seiten der porösen Platte in Berührung ist, wird die Bewegung ohne Schwächung unterhalten, indem die Molecüle fortwährend in gleicher Anzahl ein- oder austreten, obwohl nichts der Art durch eine Volumsveränderung oder sonstwie angezeigt wird. Sind die communicirenden Gase verschieden, besitzen sie aber nahezu dasselbe spec. Gewicht und dieselbe moleculare Geschwindigkeit, wie z. B. Stickgas und Kohlenoxydgas, so findet auch ein Austausch der Molecüle ohne Volumsänderung statt. Bei Gasen von ungleicher Dichtigkeit und molecularer Geschwindigkeit ist dagegen der Betrag der Durchdringung in beiden Richtungen nicht mehr gleich.

Maxwell und Cazin. Das Verdienst, diese Hypothese aufgefrischt und zuerst auf die Thatsachen der Gasdiffusion angewandt zu haben, gehört offenbar Hrn. Herapath, Siehe: »*Mathematical physics*« *in two volumes, by John Herapath* (1847).

Wir schicken diese Bemerkungen voraus bei der Betrachtung des Durchgangs eines Gases durch eine Graphitplatte in nur einer Richtung, sey es unter Druck oder unter dem Einflufs seiner eigenen elastischen Kraft. Wir setzen voraus, dafs an der einen Seite der porösen Scheidewand ein Vacuum unterhalten werde, oder dafs Luft oder sonst ein Gas unter constantem Druck mit der andern Seite in Berührung stehe. Nun kann ein Gas in dreierlei Weisen oder, aufser der eben betrachteten, in zweierlei Weisen in ein Vacuum übergehen.

1. Das Gas kann in das Vacuum eintreten durch eine kleine Oeffnung in einer dünnen Platte, z. B. durch ein in Platinfolie mit einer Stahlspitze gemachtes Löchelchen. Die Geschwindigkeit des Durchgangs verschiedener Gase wird dann durch deren spec. Gewichte regulirt gemäfs dem pneumatischen Gesetz, welches Prof. John Robison aus Torricelli's wohlbekannten Theorem über die Geschwindigkeit des Ausflusses von Flüssigkeiten abgeleitet hat. Ein Gas strömt in ein Vacuum mit der Geschwindigkeit, welche ein schwerer Körper erlangen würde, wenn er von der Höhe einer Atmosphäre herabfällt, die aus demselben Gase besteht und angenommener Weise überall gleiche Dichtigkeit besitzt. Die Höhe einer gleichförmigen Atmosphäre verhält sich umgekehrt wie das spec. Gewicht des Gases, ist z. B. beim Wasserstoffgase 16 Mal höher als beim Sauerstoffgase. Da aber die Geschwindigkeit, welche ein schwerer Körper beim Fallen erlangt, sich nicht direct wie die Höhe verhält, sondern wie die Quadratwurzel aus der Höhe, so steht die Geschwindigkeit, mit der verschiedene Gase in ein Vacuum strömen, im umgekehrten Verhältnifs der Quadratwurzel aus ihren respectiven Dichtigkeiten. Ist die Geschwindigkeit des Sauerstoffes 1, so wird die des Wassers 4, die Quadratwurzel von 16, seyn. Diefs Gesetz ist experimentell bestätigt worden [1]). Die Zeiten der *Effusion* von Gasen, wie ich es genannt habe, sind ähnlich denen des Gesetzes der molecularen Diffusion; allein es ist wich-

1) *On the motion of gases. Phil Transact.* 1846 *p.* 573.

tig zu bemerken, dafs die Effusions- und Diffusions-Phänomene wesentlich verschieden sind in ihrer Natur. Die Effusionsbewegung ergreift die Massen eines Gases, die Diffusionsbewegung dagegen die Molecüle; und durch die erstere Art von Bewegung wird ein Gas gewöhnlich mit einer viele tausend Mal gröfseren Geschwindigkeit fortgeführt als durch die letztere. Die Effusionsgeschwindigkeit der Luft ist dieselbe wie die Schallgeschwindigkeit.

2. Wenn Ausflufsöffnung in einer Platte von gröfserer Dicke gemacht, und sie so zu einer Röhre wird, werden die Ausflufsgeschwindigkeiten der Gase gestört. Diese Geschwindigkeiten nehmen jedoch bei verschiedenen Gasen wiederum ein constantes Verhältnifs zu einander an, wenn die capillare Röhre bedeutend verlängert wird, ihre Länge den Durchmesser um wenigstens das 4000fache übertrifft. Diese neuen Ausflufsverhältnisse sind die Geschwindigkeiten der »*capillaren Gas-Transspiration*«[1]). Diese Geschwindigkeiten erweisen sich als gleich in einem Haarröhrchen von Kupfer und in einem von Glas, sind als unabhängig von dem Material des Röhrchens. Ohne Zweifel haftet ein Gashäutchen an der Innenwand der Röhre und die Reibung ist wirklich die von Gas auf Gas, folglich unabhängig von der Natur der Röhrensubstanz. Die Transspirationsgeschwindigkeiten sind nicht dem spec. Gewicht unterthan, und in der That ganz verschieden von den Effusionsgeschwindigkeiten.

Die Transspirationsgeschwindigkeit des Sauerstoffs = 1 gesetzt, ist die des Chlors = 1,5, die des Wasserstoffs = 2,26, die des Aetherdampfs bei niederen Temperaturen gleich oder nahe gleich der des Wasserstoffs, die des Stickstoffs und Kohlenoxyds halb so grofs als die des Wasserstoffs, die des ölbildenden Gases, Ammoniaks und Cyans = 2 (doppelt oder nahe doppelt so grofs wie die des Sauerstoffs), die von Kohlensäure = 1,376 und die von Sumpfgas = 1,815. Bei einem und demselben Gase wächst die Transpirabilität gleicher Volume mit der Dichtigkeit, mag diese durch Kälte

1) *Phil. Transact.* 1846 *p.* 591 u. 1849 *p.* 349.

oder Druck bewirkt seyn. Die Transspirationsverhältnisse der Gase scheinen zu keiner anderen bekannten Eigenschaft der Gase in einem festen Verhältnifs zu stehen, und sie bilden eine Classe von Phänomenen ganz isolirt von Allem, was sonst von Gasen bekannt ist.

Es giebt jedoch eine Eigenschaft der Transspiration, die in unmittelbarer Beziehung zum Durchgange der Gase durch Graphitplatten steht. Die Haarröhrchen bieten dem Durchgange der Gase einen Widerstand ähnlich dem der Reibung dar, proportional der Oberfläche, und folglich wachsend mit der Anzahl der Röhren und der Verringerung des Durchmessers, bei gleichbleibender Oberfläche des Ausflusses. Der Widerstand des Durchgangs einer Flüssigkeit durch ein Haarröhrchen wurde von Poiseuille nahe gleich der vierten Potenz des Röhrendurchmessers gefunden. In Gasen wächst der Widerstand auch rasch, allein in welchem Verhältnifs ist noch nicht beobachtet. Sicher ist jedoch die Folgerung, dafs so wie sich der Durchmesser der Haarröhrchen über jede angebbare Gränze hinaus verringern läfst, so auch das Ausströmen unendlich verzögert werden kann, bis zur Unmerklichkeit. Wir können daher eine Masse Haarröhrchen haben, die ein grofses Aggregat von Durchgängen bildet, von denen aber jedes zu klein ist, als dafs es eine merkliche Strömung des Gases unter Druck gestattet. Eine poröse starre Substanz kann dieselbe verringerte Durchdringbarkeit besitzen wie ein Aggregat von Haarröhrchen. In der That scheinen alle lockeren Mineralmassen sich dem beschriebenen Porositätszustand mehr oder weniger zu nähern, so Gypsmörtel, Stuck, Kalk, gebrannter Thon, unkrystallisirte zusammengeprefste erdige Pulver wie Kalkhydrat und Magnesia, und in höchstem Grade künstlicher Graphit.

3. Eine Platte von künstlichem Graphit wird, obwohl sie auf die beiden zuvor beschriebenen Weisen undurchdringlich für Gas zu seyn scheint, vermöge der molecularen oder diffusen Bewegung der Gase leicht durchdrungen. Diefs erhellt, wenn man die zum Durchgang gleicher Volume ver-

verschiedener Gase unter constantem Druck erforderlichen Zeiten mit einander vergleicht. Bei den folgenden drei Gasen, Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlensäure wurde die Zeit zum Durchgang eines gleichen Volums von jedem durch ein capillares Glasrohr, bei Gleichheit des Druck und der Temperatur, früher folgendermaſsen beobachtet:

| | Zeit der capillaren Transspiration. |
|---|---|
| Sauerstoff | 1,00 |
| Wasserstoff | 0,72 |
| Kohlensäure | 0,44 |

Dieselben Gase wurden nun unter dem constanten Druck einer Quecksilbersäule von 100$^{mm}$ Höhe durch eine Graphitplatte von 0,5$^{mm}$ Dicke geleitet und dabei folgende Zeiten beobachtet

| | Zeit d. molecularen Durchgangs. | Quadratwurzel aus d. Dichte (Sauerstoff = 1). |
|---|---|---|
| Sauerstoff | 1 | 1 |
| Kohlensäure | 0,2472 | 0,2502 |
| Wasserstoff | 1,1886 | 1,1760. |

Daraus erhellt, daſs die Zeiten des Durchgangs durch eine Graphitplatte keine Beziehung haben zu den Zeiten der capillaren Transspiration. Die ersteren haben jedoch, wie aus der zweiten Tafel erhellt, eine enge Beziehung zu den Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten der respectiven Gase, und in sofern stimmen sie mit den, denselben Gasen gewöhnlich zugeschriebenen theoretischen Diffusionszeiten.

Die Versuche wurden dahin abgeändert, daſs man die Gase in ein Torricelli'sches Vacuum eintreten lieſs, mithin unter dem vollen Druck der Atmosphäre. Die Penetrationszeiten gleicher Gasvolume waren nun

| | Zeiten. | $\sqrt{\text{Dichtigkeit}}$. |
|---|---|---|
| Sauerstoff | 1 | 1 |
| Luft | 0,9501 | 0,9507 |
| Kohlensäure | 1,1860 | 1,1760 |
| Wasserstoff | 0,2505 | 0,2502. |

Diese Durchdringung der Graphitplatte von Gasen scheint ganz von deren eigenen Molecularbewegung herzurühren, gar nicht unterstützt von der Transspiration. Sie scheint die moleculare oder diffuse Bewegung in möglich einfachster Weise darzuthun. Diefs reine Resultat mufs der wundervoll feinen Porosität des Graphits zugeschrieben werden. Die Zwischenräume oder Canäle scheinen so klein zu seyn, dafs die Transspiration oder der Massendurchgang ganz unterdrückt wird. Der Graphit wird ein Molecular-Sieb, welches blofs Molecüle durchgehen läfst.

Bei einer Platte von Stuck geschieht die Durchdringung der Gase unter Druck sehr rasch, und die in gleichen Zeiten durchgehenden Volume Luft und Wasserstoff verhalten sich wie 1 : 2,891, welche letztere Zahl zwischen dem Transspirations-Volum 2,04 und dem Diffusions-Volum 3,8 des Wasserstoffs liegt, zum Beweise, dafs der Durchgang durch Stuck ein gemischtes Resultat ist.

Bei einer 2,2$^{mm}$ dicken Biscuit-Platte stieg das Wasserstoffvolum auf 3,754 (Luft = 1), nahe das Molecular-Verhältnifs 3,8 erreichend.

Die Geschwindigkeit des Durchgangs eines Gases durch Graphit scheint auch nahe proportional dem Druck zu seyn.

Ferner wurde gefunden, dafs Wasserstoffgas mit derselben absoluten Geschwindigkeit durch eine Graphitplatte ins Vacuum eindringt, mit der es in Luft diffundirt, zum Beweise der wichtigen Thatsache, dafs die Triebkraft dieselbe ist in beiden Bewegungen. Die moleculare Beweglichkeit kann daher als eine diffuse Bewegung der Gase angesehen werden; der Durchgang von Gas durch eine poröse Platte ins Vacuum als eine Diffusion in *einer* Richtung oder als einfache Diffusion; und die gewöhnliche Diffusion oder der Durchgang zweier Gase in entgegengesetzten Richtungen als eine doppelte, zusammengesetzte oder reciproke Diffusion.

*Atmolyse.* — Aus vorstehenden Betrachtungen war zu erwarten, dafs eine theilweise Trennung gemischter Gase und Dämpfe von ungleicher Diffusibilität zu bewirken seyn

würde, wenn man die Mischung durch eine Graphitplatte in ein Vacuum treten ließe. Da diese Zerlegungsweise einen practischen Charakter hat und eine weite Anwendung zuläſst, so wird es zweckmäſsig seyn, sie mit einem besonderen Namen zu belegen. Der Betrag der Trennung steht im Verhältniſs zum Druck, und erreicht sein Maximum wenn das Gas in ein fast vollkommenes Vacuum tritt. Es wurden hierüber viele Versuche gemacht, von denen vielleicht die über die Concentration des Sauerstoffs in der atmosphärischen Luft die interessantesten sind. Wenn man Luft, die in einer Flasche enthalten ist, durch Graphit oder unglasurte Thonwaare in ein Vacuum treten läſst, so muſs der Stickstoff in dem Verhältniſs 1,0668 : 1 rascher als der Sauerstoff entweichen, und der Sauerstoffgehalt der in der Flasche zurückbleibenden Luft muſs demgemäſs wachsen. Wirklich ergab die Beobachtung, als die Luft in der Flasche sich von einem Vol. verringert hatte auf:

| | | |
|---|---|---|
| 0,5 Vol. | Sauerstoffzunahme: | 0,48 Próc. |
| 0,25 | » | 0,98 |
| 0,125 | » | 1,54 |
| 0,0625 | » | 2,02 |

so daſs der Sauerstoff in dem letzten Sechszehntel der in der Flasche zurückgebliebenen Luft von 21 auf 23,02 Proc. gestiegen war.

Die merkwürdigsten Trennungs-Effecte werden mittelst des *Atmolysers* (*tube atmolyser*) erhalten. Dieſs ist einfach eine enge Röhre von unglasurter Thonwaare, wie z. B. ein Tabakspfeifenstiel von 2 Fuſs Länge, angebracht in einer kürzeren Glasröhre und darin gehalten durch Korke, ähnlich dem Liebig'schen Refrigerator (*condenser*). Die Glasröhre wird mit einer Luftpumpe verbunden und der ringförmige Raum zwischen beiden Röhren so nahe wie möglich luftleer gehalten. Dann läſst man Luft oder sonst eine gemischte Gasart durch die Thonröhre strömen und fängt sie beim Austreten auf. Das so atmolysirte Gas ist natürlich im Volume verringert, viel von ihm dringt durch die Poren der Thonröhre in das Vacuum der Luftpumpe; je

langsamer das Gas durchstreicht, desto gröſser ist verhältniſsmäſsig der Verlust. In dem aufgefangenen Gase wird somit der dichtere Bestandtheil desselben in einem arithmetischen Verhältniſs concentrirt, während das Volum des Gases in geometrischem Verhältniſs abnimmt. In einem Versuch war der Sauerstoffgehalt der Luft nachdem sie den Atmolyser durchstrichen hatte, auf 24,5 Proc. gestiegen oder um 16,7 Proc. des ursprünglich in der Luft enthaltenen. Bei Gasen welche an Dichtigkeit und Diffusibilität so verschieden sind wie Sauerstoff und Wasserstoff ist die Trennung natürlich noch bedeutender. Das verpuffende Gemisch von 2 Vol. Wasserstoff und 1 Vol. Sauerstoff, gab einen Sauerstoff der nur 9,3 Proc. Wasserstoff enthielt und in welchem eine Kerze ohne Verpuffung brannte. Bei gleichen Volumen Sauerstoff und Wasserstoff ward der Antheil des letzteren von 50 auf 5 Proc. reducirt.

*Interdiffusion von Gasen. — Doppel-Diffusion.* — Die Construction des Diffusiometers ward durch Prof. Bunsen sehr verbessert, indem er zur Hebung und Senkung der Röhre in dem Quecksilbertrog eine Hebelvorrichtung anbrachte. Allein die Stuckmasse, welche in seinem Instrument die poröse Platte bildete, war meiner Meinung nach zu voluminös, und hatte sich wahrscheinlich, da sie durch Hitze getrocknet ward, von den Wänden der Glasröhre abgelöst. Auf das erhaltene Resultat: 3,4 Wasserstoff gegen 1 Luft, wird jener berühmte Physiker, wie ich höre, nicht mehr bestehen. Es ist in der That sonderbar, daſs meine alten Versuche eine Zahl für den Wasserstoff ergaben, die eher über als unter der theoretischen $\sqrt{\frac{1}{0{,}06926}} = 3{,}7997$ liegt. Mit Stuck als poröse Platte bilden die Höhlungen in derselben etwa ein Viertel ihres Volum und sie afficiren das in Rede stehende Verhältniſs merklich, je nachdem sie mit in die Capacität des Instruments eingeschlossen sind oder nicht. Mit einer 12$^{mm}$ dicken und ohne Erhitzung getrockneten Stuckplatte, deren Höhlungen beim Beginn der Diffusion stets mit Wasserstoff gefüllt waren,

wurden erhalten 3,783; 3,8 und 3,739, wenn man das Volum der Höhlungen zu dem der Luft und des Wasserstoffs addirte, und 3,931, 3,949 und 3,883, wenn man sie nicht addirte. Die Wirkung einer Graphitplatte andererseits ist nicht mit solcher Unsicherheit verknüpft, da sie dünn ist und ihre Poren zu klein sind, als dafs deren Volum in Rechnung gezogen zu werden brauchte. Bei einer Graphitplatte von 2$^{mm}$ Dicke war die Zahl für Wasserstoff, als er in Luft eintrat, 3,876, und als er in Sauerstoff überging 4,124 statt 4. Bei einer Graphitplatte von 1$^{mm}$ Dicke war erstere Zahl 3,993 gegen Luft = 1. Bei einer Graphitplatte von 0,5$^{mm}$ Dicke stieg dieselbe Zahl auf 3,984, 4,068 und 4,067. Eine ähnliche Abweichung von der theoretischen Zahl wurde beobachtet, wenn Wasserstoff in Sauerstoff oder Kohlensäure diffundirte, statt in Luft. Alle diese Versuche wurden über Quecksilber und mit getrockneten Gasen angestellt. Man sieht, die Zahlen stimmen am besten mit der Theorie, wenn die Graphitplatte dick ist, und demgemäfs die Diffusion langsam geschieht. Wenn die Diffusion sehr rasch geht, wie im Fall bei dünnen Platten, so kann sich möglicherweise in den Kanälen eine Art von Strom in Richtung des Wasserstoffs bilden und ein Wenig von der Luft oder dem langsamer gehenden Gase in Masse zurücktreiben. Anders kann ich mir den Ueberschufs den das leichtere und schnellere Gas beim Diffundiren durch eine poröse Scheidewand immer zu erlangen scheint, nicht erklären.

## IV. *Ueber einen Grundsatz der mechanischen Wärmetheorie; von R. Clausius.*

(Vorgetragen am 25. August 1863 in der zu Samaden abgehaltenen Versammlung der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft.)

---

§. 1. Zu der Zeit, als ich meine erste Abhandlung über die mechanische Wärmetheorie [1]) schrieb, standen sich in Bezug auf das Verhalten der Wärme bei der Hervorbringung von mechanischer Arbeit zwei verschiedene Ansichten gegenüber.

Die eine beruhte auf der in früherer Zeit allgemein verbreiteten Vorstellung, dafs die Wärme ein besonderer Stoff sey, welcher in einem Körper in gröfserer oder geringerer Quantität vorhanden seyn könne, und dadurch die Verschiedenheiten der Temperatur bedinge. Dieser Vorstellung gemäfs hatte man die Ansicht, dafs die Wärme wohl die Art ihrer Vertheilung ändern könne, indem sie aus einem Körper in einen anderen übergehe, und dafs sie ferner in verschiedenen Zuständen existiren könne, die man mit den Worten »latent« und »frei« bezeichnete; dafs aber die Quantität der im Ganzen vorhandenen Wärme sich weder vermehren noch vermindern lasse, da ein Stoff nicht neu erzeugt und nicht vernichtet werden könne.

Diese Ansicht liegt der i. J. 1824 veröffentlichten Schrift von S. Carnot [2]), in welcher die durch Wärme getriebenen Maschinen einer allgemeinen theoretischen Behandlung unterworfen sind, zu Grunde. Indem Carnot die Umstände, unter denen durch Wärme eine bewegende Kraft hervorgebracht werden kann, näher untersuchte, fand er, dafs dabei immer ein Uebergang von Wärme aus einem Körper von höherer in einen anderen von niederer Temperatur stattfinde, wie z. B. bei einer Dampfmaschine durch

1) Ueber die bewegende Kraft der Wärme etc. Diese Ann. Bd. LXXIX, S. 386 u 500. März- und Aprilheft 1850.

2) *Réflexions sur la puissance motrice du feu.*

Vermittlung des Dampfes Wärme vom Feuer, also von einem Körper von sehr hoher Temperatur, nach dem Condensator, einem Raume, wo sich Körper von niederer Temperatur befinden, übertragen wird. Er verglich diese Art der Arbeiterzeugung mit derjenigen, welche durch das Herabsinken einer Wassermasse von einer höheren zu einer niederen Stelle verursacht wird, und er bezeichnete daher, entsprechend dem Ausdrucke *»une chute d'eau«*, das Herabsinken der Wärme von höherer zu niederer Temperatur mit den Worten *»une chute du calorique«* [1]).

Von dieser Betrachtung ausgehend, stellte er den Satz auf, dafs die Gröfse der erzeugten Arbeit zu dem gleichzeitig stattfindenden Wärmeübergange, d. h. zu der Quantität der übergehenden Wärme und den Temperaturen der Körper, zwischen denen sie übergeht, in einer gewissen allgemein gültigen Beziehung stehen müsse, welche von der Natur derjenigen Stoffe, durch welche die Arbeiterzeugung und der Wärmeübergang vermittelt wird, unabhängig sey. Sein Beweis für die Nothwendigkeit einer solchen bestimmten Beziehung stützt sich auf den Grundsatz, *dafs es unmöglich sey, bewegende Kraft aus nichts zu schaffen*, oder mit andern Worten, *dafs ein Perpetuum-Mobile unmöglich sey.*

Die andere oben erwähnte Ansicht besteht darin, dafs die Wärme ihrer Quantität nach nicht unveränderlich sey, sondern dafs, wenn mechanische Arbeit durch Wärme erzeugt wird, dazu Wärme verbraucht werden müsse, und dafs umgekehrt durch Verbrauch von Arbeit eine entsprechende Menge Wärme erzeugt werden könne. Diese Ansicht steht mit den neueren Vorstellungen über das Wesen der Wärme, dafs sie nicht ein Stoff, sondern eine Bewegung sey, in unmittelbarem Zusammenhange. Sie war seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts schon hin und wieder von einzelnen Autoren, wie Rumford, Davy und Seguin ausgesprochen; aber erst in den vierziger Jahren dieses Jahrhundertes wurde sie von Mayer in Heilbronn,

1) S. S. 28 seiner Schrift.

Colding in Copenhagen und Joule in Manchester in mehr eingehender Weise untersucht und begründet, und das darauf bezügliche Gesetz der Aequivalenz mit Bestimmtheit aufgestellt.

Nach dieser Ansicht ist in dem Processe der Arbeiterzeugung durch Wärme der ursächliche Zusammenhang ein ganz anderer, als der, welchen Carnot angenommen hatte. Die mechanische Arbeit entsteht dadurch, dafs ein Theil der vorhandenen Wärme sich in Arbeit umsetzt, in derselben Weise, wie nach den gewöhnlichen Gesetzen der Mechanik durch eine vorhandene Bewegung eine Kraft überwunden und dadurch eine Arbeit gethan werden kann, wobei die Bewegung einen der gethanen Arbeit aequivalenten Verlust an lebendiger Kraft erleidet, so dafs man sagen kann, es habe sich lebendige Kraft der Bewegung in Arbeit umgesetzt. Der Vergleich von Carnot, dafs die Arbeiterzeugung durch Wärme der Arbeiterzeugung durch eine herabsinkende Wassermasse in der Weise entspreche, dafs als Ursache jener Arbeiterzeugung das Herabsinken einer gewissen Wärmemenge von höherer zu niederer Temperatur anzusehen sey, war also nach der neueren Ansicht nicht mehr zulässig. Man glaubte sich daher damals in die Alternative versetzt, entweder die Carnot'sche Theorie beizubehalten, und die neuere Ansicht, nach welcher zur Erzeugung von Arbeit Wärme verbraucht werden mufs, zu verwerfen, oder umgekehrt sich zu der neueren Ansicht zu bekennen und die Carnot'sche Theorie zu verwerfen.

§. 2. Als ich mich zu eben jener Zeit der Untersuchung dieses Gegenstandes zuwandte, trug ich kein Bedenken, mich der Ansicht, dafs zur Arbeiterzeugung Wärme verbraucht werden müsse, anzuschliefsen. Dessenungeachtet war ich nicht der Meinung, dafs die Carnot'sche Theorie, welche an Clapeyron einen sehr geschickten analytischen Bearbeiter gefunden hatte, ganz zu verwerfen sey, sondern ich fand, dafs der von Carnot aufgestellte Satz durch Ausscheidung eines Theiles und geeignete Formulirung des übrigen Theiles mit dem neueren Satze von der

Aequivalenz von Wärme und Arbeit in Einklang gebracht, und mit ihm zusammen zu wichtigen Schlüssen benutzt werden könne. Den in dieser Weise modificirten Carnot'-schen Satz behandelte ich in der zweiten Abtheilung meiner oben citirten Abhandlung, in deren erster Abtheilung ich den Satz von der Aequivalenz von Wärme und Arbeit behandelt hatte.

In meinen späteren Abhandlungen bin ich durch weitere Verfolgung derselben Betrachtungen, welche mich zur ersten Umgestaltung des Carnot'schen Satzes geführt hatten, zur Aufstellung von Sätzen gelangt, welche einfacher und zugleich umfassender, als jener sind. Auf diese Erweiterungen der Theorie will ich aber für jetzt nicht eingehen, sondern mich vorläufig auf die Frage beschränken, wie nach der Annahme des Satzes von der Aequivalenz von Wärme und Arbeit die Nothwendigkeit des anderen Satzes in seiner modificirten Gestalt bewiesen werden konnte.

Der von Carnot für den Beweis seines Satzes angewandte Grundsatz, dafs es unmöglich ist, bewegende Kraft oder, besser gesagt, mechanische Arbeit aus nichts zu schaffen, konnte für den veränderten Satz nicht mehr angewandt werden. Da nämlich in diesem veränderten Satze schon vorausgesetzt ist, dafs zur Hervorbringung der mechanischen Arbeit eine aequivalente Menge Wärme verbraucht wird, so folgt daraus, dafs, mag nun neben dem Verbrauche von Wärme noch gleichzeitig ein Uebergang einer anderen Wärmemenge von einem warmen zu einem kalten Körper stattfinden, oder nicht, doch keinesfalls davon die Rede seyn kann, dafs die Arbeit aus nichts enstanden sey.

Dagegen fand ich, dafs man eine andere, meiner Ansicht nach ebenfalls sichere Basis für den Beweis gewinnen kann, wenn man den von Carnot gewählten Gang der Betrachtung umkehrt, und einen Satz, welcher bei ihm als eine Folgerung aus seinen Voraussetzungen angesehen werden kann, in etwas veränderter Fassung selbst als Grundsatz hinstellt, und zum Beweise des fraglichen Satzes benutzt.

Nachdem Carnot nämlich von jenem Grundsatze, dafs man nicht Arbeit aus nichts schaffen kann, ausgehend den Satz aufgestellt hatte, dafs zur Hervorbringung von Arbeit eine entsprechende Menge Wärme aus einem wärmeren in einen kälteren Körper übergehen müsse, mufste er folgerichtig auch schliefsen, dafs man, um umgekehrt Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper zu schaffen, Arbeit verbrauchen müsse. Obwohl nun die Schlufsweise, welche zu diesem Resultate führte, jetzt aufgegeben werden mufs, und auch das Resultat selbst sich nicht ganz in seiner ursprünglichen Form festhalten läfst, so ist doch so viel ersichtlich, dafs zwischen dem Uebergange von Wärme aus einem wärmeren in einen kälteren Körper und dem Uebergange aus einem kälteren in einen wärmeren Körper ein wesentlicher Unterschied besteht, indem der erstere Uebergang ohne Weiteres von selbst stattfinden kann unter Umständen, unter denen der letztere nicht möglich ist.

Durch nähere Betrachtung des Gegenstandes und durch Erwägung der sonst bekannten Eigenschaften und Wirkungen der Wärme gelangte ich zu der Ueberzeugung, dafs jener Unterschied im Wesen der Wärme selbst begründet ist, indem sie ihrer Natur nach das Bestreben haben mufs, bestehende Temperaturdifferenzen auszugleichen. Sie mufs demnach stets von wärmeren Körpern zu kälteren überzugehen suchen, und ein umgekehrter Uebergang aus einem kälteren in einen wärmeren Körper kann nur unter solchen Umständen stattfinden, wo gleichzeitig eine andere Wärmemenge aus einem wärmeren in einen kälteren Körper übergeht, oder sonst irgend eine Veränderung geschieht, welche die Eigenthümlichkeit hat, dafs sie nicht rückgängig werden kann, ohne ihrerseits einen solchen Uebergang aus einem wärmeren in einen kälteren Körper zu veranlassen. Diese gleichzeitig stattfindende Veränderung ist dann als das Aequivalent jenes Wärmeübergangs aus dem kälteren in den wärmeren Körper anzusehen, so dafs man nicht sagen kann, der Uebergang habe *von selbst* statt gefunden.

Ich glaubte daher in diesem Sinne den Satz,

*dafs die Wärme nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen kann,*

als einen Grundsatz hinstellen, und zum Beweise des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie benutzen zu dürfen.

§. 3. Dieser Grundsatz ist von dem wissenschaftlichen Publicum sehr verschieden aufgenommen. Die Einen schienen ihn als so von selbst verständlich zu betrachten, dafs sie es für unnöthig hielten, ihn als einen besonderen Grundsatz auszusprechen. Die Anderen dagegen zogen umgekehrt die Richtigkeit des Satzes in Zweifel.

Die erstere Auffassung finde ich in der von Zeuner im Jahre 1860 herausgegebenen sehr verdienstlichen Schrift »Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie«, in welcher er diese Theorie, so weit sie damals entwickelt war, in zusammenhängender und möglichst einfacher Weise darzustellen gesucht hat, um diejenigen, denen die Originalabhandlungen nicht zugänglich, oder die darin enthaltenen mathematischen Entwickelungen nicht verständlich sind, doch mit den Hauptresultaten der Theorie bekannt zu machen.

Zeuner theilt in dieser Schrift meinen Beweis des zweiten Hauptsatzes im Wesentlichen in der Form mit, in welcher Reech ihn wiedergegeben hat [1]). In einem Punkte aber weicht seine Darstellung von jener ab. Reech nämlich führt den Satz, dafs die Wärme nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen kann, ausdrücklich als einen von mir aufgestellten Grundsatz an, und basirt darauf den Beweis. Zeuner dagegen erwähnt diesen Satz gar nicht, sondern zeigt nur, dafs, wenn für irgend zwei Körper der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie nicht gültig wäre, man durch zwei mit diesen beiden Körpern in entgegengesetzter Weise ausgeführte Kreisprocesse ohne eine sonstige Veränderung Wärme aus

1) *Récapitulation très-succincte des recherches algébriques faites sur la théorie des effets mécaniques de la chaleur par différents auteurs* · *Journ. de Liouville II^e ser. t. I p.* 58.

einem kälteren in einen wärmeren Körper übertragen könne, und fährt dann fort [1]): »Da wir beide Processe beliebig oft wiederholen können, indem wir in der bezeichneten Weise die beiden Körper abwechselnd anwenden, so würde daraus hervorgehen, dafs wir mit Nichts, ohne Aufwand von Arbeit oder Wärme, fortwährend Wärme von einem Körper von niederer zu einem Körper von höherer Temperatur überführen könnten; was eine Ungereimtheit wäre«.

Dafs die Unmöglichkeit, ohne eine sonstige Veränderung Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper überzuführen, so ohne Weiteres evident sey, wie es hier in der kurzen Bemerkung: »was eine Ungereimtheit wäre«, angedeutet ist, werden, wie ich glaube, wenige Leser zugeben. Bei der Wärmeleitung und der unter gewöhnlichen Umständen stattfindenden Wärmestrahlung kann man allerdings sagen, dafs diese Unmöglichkeit durch die alltägliche Erfahrung feststehe. Aber schon bei der Wärmestrahlung kann die Frage entstehen, ob es nicht vielleicht durch künstliche Concentration der Wärmestrahlen mit Hülfe von Brennspiegeln oder Brenngläsern möglich wäre, eine höhere Temperatur zu erzeugen, als die Körper haben, welche die Strahlen aussenden, und dadurch zu bewirken, dafs Wärme in einen wärmeren Körper übergehe [2]). Noch complicirter wird die Sache in solchen Fällen, wo Wärme in Arbeit und Arbeit in Wärme verwandelt wird, sey es durch Processe der Art wie die Reibung und der Luftwiderstand, sey es dadurch, dafs ein oder mehrere Körper solche Zustandsänderungen erleiden, die mit, theils positiver theils negativer, innerer und äufserer Arbeit verbunden sind, und bei denen daher, wie man im gewöhnlichen Sprachgebrauche zu sagen pflegt, Wärme *latent* oder *frei*

1) S. 24 seines Buches.

2) Diesen Gegenstand, welcher auch in anderer Beziehung von Interesse ist, habe ich in einem besonderen Aufsatze behandelt, den ich schon im Juni d. J. der Züricher naturforschenden Gesellschaft vorgetragen habe, und der in einem der nächsten Hefte dieser Annalen erscheinen wird.

wird, welche Wärme die veränderlichen Körper anderen Körpern von verschiedenen Temperaturen entziehen und mittheilen können.

Wenn man für alle solche Fälle, wie complicirt die Vorgänge auch immer seyn mögen, behauptet, dafs ohne eine andere bleibende Veränderung, welche als ein Aequivalent anzusehen ist, niemals Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übertragen werden kann, so glaube ich, dafs man diesen Satz nicht als einen ganz von selbst verständlichen behandeln darf, sondern ihn vielmehr als einen neu aufgestellten Grundsatz, von dessen Annahme oder Nichtannahme die Gültigkeit des Beweises abhängt, anführen mufs.

§. 4. Häufiger, als der eben besprochenen Auffassung, begegnet man der entgegengesetzten Ansicht, dafs dieser Satz nicht hinlänglich zuverläfsig sey, um als Grundlage des Beweises zu dienen, oder selbst, dafs er unrichtig sey.

Ich mufs in dieser Beziehung zuerst die Art, wie Rankine die Sache behandelt hat, anführen. Rankine hat in einer Abhandlung, welche fast gleichzeitig mit der meinigen erschien [1]), die Theorie einer von ihm angenommenen Bewegungsart der Molecüle, nämlich der Molecularwirbel, entwickelt, und daraus über das Verhalten der Körper, besonders der Gase und Dämpfe, Folgerungen abgeleitet, die zum Theil mit denjenigen übereinstimmen, welche ich in der *ersten Abtheilung* meiner Abhandlung aus dem Satze von der Aequivalenz von Wärme und Arbeit gezogen habe. Der Gegenstand der *zweiten Abtheilung* meiner Abhandlung, nämlich der von mir modificirte Carnot'sche

1) Sie wurde in demselben Monate, im Februar 1850, in welchem meine Abhandlung der Berliner Academie vorgetragen wurde, der Edinburger *Royal Soc.* vorgetragen, der sie, wie Rankine in einer Mittheilung an Hrn. Poggendorff sagt, schon im October 1849 eingereicht worden ist. Ihre Veröffentlichung aber erfolgte etwas später, als die der meinigen. Sie erschien in den *Transactions of the Royal Soc. of Edinb. Vol. XX p.* 147, und ist i. J. 1854 mit einigen Abänderungen noch einmal abgedruckt im *Phil. Mag. Ser. IV, Vol. VII.*

Satz mit seinen Folgerungen, ist aber in Rankine's Abhandlung nicht enthalten.

In einem späteren Aufsatze, welcher im April 1851 der Edinburger *Royal Soc.* vorgetragen ist, und welchen Rankine dann seiner früheren Abhandlung als 5. Section hinzugefügt hat [1]), hat auch er sich der Betrachtung jenes zweiten Hauptsatzes zugewandt. Er sagt dort [2]), dafs er zuerst gegen die Richtigkeit der Schlufsweise, durch welche ich den Satz aufrecht erhalten habe, Zweifel gehegt habe, (*I had at first doubts as to the reasoning by which he maintained it*), dafs er aber durch W. Thomson, dem er seine Zweifel mitgetheilt habe, veranlafst sey, den Gegenstand näher zu untersuchen. Dabei sey er zu dem Schlusse gelangt, dafs dieser Satz nicht als ein unabhängiges Princip in der Wärmetheorie zu behandeln sey, sondern dafs er als eine Folge aus denjenigen Gleichungen abgeleitet werden könne, welche in der ersten Section seiner Abhandlung aufgestellt seyen.

Ich mufs aber gestehen, dafs ich den darauf von Rankine mitgetheilten Beweis des Satzes nicht als genügend betrachten kann.

§. 5. Rankine unterscheidet, wie auch ich es gethan habe, in der Wärme, welche man einem Körper mittheilen mufs, um seine Temperatur zu erhöhen, zwei verschiedene Theile, nämlich den Theil, welcher zur Vermehrung der im Körper wirklich vorhandenen Wärme dient, und den Theil, welcher zu Arbeit verbraucht wird. Der letztere Theil umfast die zu innerer und zu äufserer Arbeit verbrauchte Wärme zusammen.

Für die zu Arbeit verbrauchte Wärme wendet Rankine einen Ausdruck an, welchen er in der ersten Section seiner Abhandlung aus der Hypothese der Molecularwirbel abgeleitet hat. Auf diese Ableitungsweise brauche ich hier nicht näher einzugehen, da schon der Umstand, dafs sie auf einer eigenthümlichen Hypothese über die Beschaffenheit

1) *Phil. Mag. Ser. IV, vol. VII, p.* 249.
2) A. a. O. S. 251.

der Molecüle und über die Art ihrer Bewegungen beruht, hinreichend erkennen läfst, dafs man es dabei mit complicirten Betrachtungen zu thun haben mufs, welche manchen Zweifeln über den Grad ihrer Zuverlässigkeit Raum bieten. Ich habe in meinen Abhandlungen ein ganz besonderes Gewicht darauf gelegt, mich bei der Entwickelung der Gleichungen der mechanischen Wärmetheorie nicht auf specielle Ansichten über die Molecularconstitution der Körper, sondern nur auf gewisse allgemeine Grundsätze zu stützen, und demgemäfs würde ich, selbst wenn der eben genannte Umstand der einzige wäre, welchen man gegen Rankine's Beweis anführen könnte, doch glauben, meine Behandlungsart des Gegenstandes als die geeignetere festhalten zu müssen. Aber die Bestimmung des zweiten Theiles der dem Körper mitzutheilenden Wärme, nämlich des Theiles, welcher zur Vermehrung der im Körper wirklich vorhandenen Wärme dient, ist noch viel unsicherer.

Rankine stellt die Vermehrung der im Körper vorhandenen Wärmemenge, wenn seine Temperatur $t$ sich um $dt$ ändert, mag das Volumen des Körpers sich dabei gleichzeitig auch ändern, oder nicht, einfach durch das Product $\mathfrak{k}\,dt$ dar, und behandelt die hierin vorkommende Gröfse $\mathfrak{k}$, welche er die wahre spec. Wärme (*the real specific heat*) nennt, in seinem Beweise *als eine vom Volumen unabhängige Gröfse.* Nach einem ausreichenden Grunde für dieses Verfahren sucht man aber in seiner Abhandlung vergebens; vielmehr kommen Angaben vor, welche damit geradezu im Widerspruche stehen.

In der Einleitung zu seiner Abhandlung stellt er in Gleichung (XIII) einen Ausdruck für die wahre spec. Wärme auf, welcher einen mit $k$ bezeichneten Factor enthält, und von diesem sagt er[1]: *The coefficient k (which enters into the value of specific heat) being the ratio of the vis viva of the entire motion impressed on the atomic atmospheres by the action of their nuclei, to the vis viva of a peculiar kind of motion, may be conjectured to have a specific value for each*

1) *Phil. Mag. Ser. IV Vol. VII, p.* 10.

*substance depending in a manner yet unknown on some circumstance in the constitution of its atoms. Although it varies in some cases for the same substance in the solid, liquid and gaseous states, there is no experimental evidence that it varies for the same substance in the same condition.* Hiernach ist also Rankine der Ansicht, dafs die wahre spec. Wärme einer und derselben Substanz in verschiedenen Aggregatzuständen verschieden seyn könne; und auch dafür, dafs sie in demselben Aggregatzustande als unveränderlich anzunehmen sey, führt er als Grund nur an, dafs kein experimenteller Beweis für das Gegentheil vorliege.

In einer späteren Schrift von Rankine »*A Manual of the Steam Engine and other Prime Movers, London and Glasgow* 1859« findet sich auf S. 307 über diesen Gegenstand ein noch bestimmterer Ausspruch, welchen ich bei einer anderen Gelegenheit schon einmal citirt habe, und worin es heifst: *a change of real specific heat, sometimes considerable, often accompanies the change between any two of those conditions* (nämlich der drei Aggregatzustände). Wie grofse Unterschiede Rankine bei der wahren spec. Wärme einer und derselben Substanz in verschiedenen Aggregatzuständen für möglich hält, geht daraus hervor, dafs er (auf derselben Seite) sagt, beim flüssigen Wasser sey die durch Beobachtung bestimmte spec. Wärme, welche er die scheinbare spec. Wärme nennt, nahe gleich der wahren spec. Wärme. Da nun Rankine sehr wohl weifs, dafs die beobachtete spec. Wärme des flüssigen Wassers doppelt so grofs ist, als die des Eises, und mehr als doppelt so grofs, als die des Dampfes, und da die wahre spec. Wärme des Eises und des Dampfes jedenfalls nur kleiner und nicht gröfser seyn kann, als die beobachtete, so folgt daraus, dafs Rankine annehmen mufs, die wahre spec. Wärme des flüssigen Wassers übertreffe diejenige des Eises und des Dampfes um das Doppelte oder mehr.

Stellt man sich nun die Frage, wie nach dieser Auffassung bei einem Körper, dessen Temperatur $t$ um $dt$, und

dessen Volumen $v$ um $dv$ wächst, die dabei stattfindende Zunahme der im Körper wirklich vorhandenen Wärmemenge ausgedrückt werden müfste, so ergiebt sich Folgendes.

Für den Fall, dafs der Körper bei der Volumenänderung keine Aenderung des Aggregatzustandes erleidet, würde man die Zunahme der vorhandenen Wärmemenge zwar, wie Rankine es gethan hat, durch ein einfaches Product von der Form $\mathfrak{f}dt$ darstellen können, aber man müfste dem Factor $\mathfrak{f}$ für verschiedene Aggregatzustände verschiedene Werthe zuschreiben.

In solchen Fällen aber, wo der Körper bei der Volumenänderung auch seinen Aggregatzustand ändert, (also z. B. in dem oft betrachteten Falle, wo eine Quantität eines Stoffes theils im flüssigen, theils im dampfförmigen Zustande gegeben ist, und bei der Volumenänderung sich die Gröfse dieser beiden Theile ändert, indem entweder von der Flüssigkeit noch ein Theil verdampft, oder von dem Dampfe sich ein Theil niederschlägt), würde man die mit einer gleichzeitigen Temperatur- und Volumenänderung verbundene Zunahme der vorhandenen Wärmemenge nicht mehr durch ein einfaches Product $\mathfrak{f}dt$ darstellen können, sondern man müfste dazu einen Ausdruck von der Form

$$\mathfrak{f}\,dt + \mathfrak{f}_1\,dv$$

anwenden. Wenn nämlich die wahre specifische Wärme eines Stoffes in verschiedenen Aggregatzuständen verschieden wäre, so müfste man mit Nothwendigkeit schliefsen, dafs auch die in ihm vorhandene Wärmemenge von seinem Aggregatzustande abhänge, so dafs gleiche Quantitäten des Stoffes im festen, flüssigen und luftförmigen Zustande verschiedene Mengen von Wärme enthalten. Es müfste somit in einem Falle, wo ohne Temperaturänderung ein Theil des Stoffes seinen Aggregatzustand ändert, auch die in dem Stoffe im Ganzen vorhandene Wärmemenge sich ändern.

Hieraus folgt, dafs Rankine die Art, wie er die Zunahme der vorhandenen Wärmemenge ausdrückt, und den Ausdruck in seinem Beweise behandelt, nach seinen eigenen sonstigen Aussprüchen nur für solche Fälle als zuläs-

sig betrachten darf, wo keine Aenderungen des Aggregatzustandes vorkommen, und dafs er daher seinem Beweise auch nur für diese Fälle Gültigkeit zuschreiben kann. Für alle Fälle, wo Aenderungen des Aggregatzustandes vorkommen, bliebe der Satz also unbewiesen; und doch sind diese Fälle von besonderer Wichtigkeit, indem gerade sie es sind, auf welche man den Satz bisher am meisten angewandt hat.

Ja man mufs noch weiter gehen und sagen, dafs hierdurch der Beweis auch für solche Fälle, wo keine Aenderungen des Aggregatzustandes vorkommen, alle Zuverlässigkeit verliert. Wenn Rankine annimmt, dafs die wahre specifische Wärme in verschiedenen Aggregatzuständen verschieden seyn kann, so sieht man gar nicht ein, aus welchem Grunde man sie in demselben Aggregatzustande als unveränderlich ansehen mufs. Man weifs, dafs bei festen und flüssigen Körpern, auch ohne Aenderung des Aggregatzustandes, Aenderungen in den Cohäsionsverhältnissen eintreten können, und dafs bei gasförmigen Körpern aufser den grofsen Volumenverschiedenheiten auch der Unterschied vorkommt, dafs sie, je nachdem sie mehr oder weniger weit von ihrem Condensationspunkte entfernt sind, mehr oder weniger genau dem Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetze folgen. Weshalb soll man nun, wenn Aenderungen des Aggregatzustandes einen Einflufs auf die wahre specifische Wärme haben können, nicht jenen Veränderungen ebenso gut einen, wenn auch geringeren, Einflufs der Art zuschreiben dürfen? Die Voraussetzung, dafs die wahre specifische Wärme in demselben Aggregatzustande unveränderlich sey, ist also bei Rankine nicht nur unbegründet gelassen, sondern sie würde, wenn die sonstigen von ihm gemachten Annahmen richtig wären, sogar im hohen Grade unwahrscheinlich seyn.

§. 6. Der Gang welchen ich bei der Behandlung des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie eingeschlagen habe, und welchen ich, trotz des Einwurfes von

Rankine, auch jetzt noch für den zweckmäfsigsten halte, ist im Wesentlichen folgender.

Ich habe den Satz zuerst für *Kreisprocesse* (also für solche Vorgänge, bei denen jede im Laufe des Processes etwa gethane *innere* Arbeit wieder aufgehoben wird, so dafs nur *äufsere* Arbeit übrig bleibt), mit Hülfe des Grundsatzes, *dafs die Wärme nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen kann*, bewiesen. Nachdem ich den Satz dann in eine Form gebracht habe, welche durch ihre Einfachheit fast mit Sicherheit schliefsen läfst, dafs der Satz nicht auf eine specielle Klasse von Erscheinungen beschränkt seyn kann, sondern eine allgemeine Gültigkeit haben mufs, habe ich ihn auch auf die *innere* Arbeit angewandt. Dadurch bin ich dazu geführt, ein allgemeines Gesetz über die Abhängigkeit der wirksamen Kraft der Wärme von der Temperatur aufzustellen, nämlich *dafs die wirksame Kraft der Wärme der absoluten Temperatur proportional sey.* Die Verbindung der Gleichung, welche dieses Gesetz ausdrückt mit derjenigen Gleichung, welche ich für Kreisprocesse aus dem obigen Grundsatze bewiesen hatte, führte mich dann zu dem Schlusse, *dafs die Menge der in einem Körper wirklich vorhandenen Wärme nur von seiner Temperatur und nicht von der Anordnung seiner Bestandtheile abhängen könne.* Wenn dieser Schlufs richtig ist, so mufs die wahre specifische Wärme eines Körpers nicht nur in demselben Aggregatzustande von seinem Volumen unabhängig seyn, sondern sie mufs auch, entgegen der von Rankine ausgesprochenen Ansicht, unabhängig vom Aggregatzustande seyn.

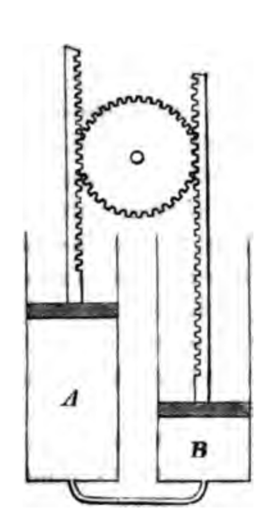
Nachdem dieses letztere Resultat gewonnen ist, könnte man nun vielleicht auch den Gang der Betrachtung umkehren. Wenn man nämlich den Satz, dafs die in einem Körper wirklich vorhandene Wärmemenge von der Anordnung seiner Bestandtheile unabhängig ist, und das vorher angeführte Gesetz über die Abhängigkeit der wirksamen Kraft der Wärme von der Temperatur, beide im Vor-

aus als richtig annimmt, so kann man daraus die Richtigkeit jener Gleichung, welche den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie für Kreisprocesse ausdrückt, beweisen. Ich glaube aber, dafs es wenig Anklang gefunden haben würde, wenn jemand jenen Satz über die wirklich vorhandene Wärme, welcher zur Folge hat, dafs die wahre specifische Wärme eines Körpers von der durch Beobachtung bestimmten in dem Grade verschieden seyn kann, dafs sie weniger als die Hälfte derselben beträgt, von vornherein, ohne allen Beweis, als Hypothese hingestellt hätte. Ein Satz, der von den bisher verbreiteten Vorstellungen so sehr abweicht, wie dieser, hat nur dann Aussicht auf Anerkennung, wenn er durch Gründe unterstützt wird, welche anderweitig sehr wahrscheinlich gemacht sind. Es scheint mir daher, dafs diese umgekehrte Betrachtungsweise wohl dazu dienen kann, die Sache auch von der anderen Seite zu beleuchten, und sie sich dadurch noch klarer zu machen; aber zum Beweise scheint sie mir nicht geeignet zu seyn.

Als besonderen Vorzug meiner Behandlungsweise des Gegenstandes mufs ich noch das geltend machen, dafs dadurch der fragliche Hauptsatz, soweit er sich auf Kreisprocesse bezieht, ohne Zuziehung irgend einer Annahme über den inneren Zustand der Körper bewiesen wird, und dafs erst bei der Anwendung des Satzes auf die innere Arbeit der innere Zustand der Körper und zwar speciell die Menge der in den Körpern vorhandenen Wärme zur Sprache zu kommen braucht. Daraus erwächst der Vortheil, dafs selbst dann, wenn jemand Bedenken tragen sollte, jene Folgerung über die in einem Körper enthaltene Wärmemenge als richtig anzuerkennen, er dessenungeachtet den Hauptsatz, soweit er sich auf Kreisprocesse bezieht, unverändert festhalten könnte.

§. 7. Ein noch bestimmterer Einwand gegen meinen Grundsatz ist in neuerer Zeit von Hirn erhoben, und dieser ist es vorzugsweise, welcher mir zu dem vorliegenden Aufsatze Veranlassung gegeben hat, da dieselbe Ansicht auch von anderen Autoren getheilt zu werden scheint.

Hirn hatte in einem früheren Werke *»Recherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur«* den Satz von der Aequivalenz von Wärme und Arbeit bekämpft. In seinem neuen Werke *»Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur«* nimmt er die in jener Beziehung ausgesprochenen Behauptungen zurück, bekämpft aber nun den Satz, dafs die Wärme nicht von selbst aus einem kältern in einen wärmern Körper übergehen kann. Auch nach dem Erscheinen dieses Werkes hat er seine Ansichten über denselben Gegenstand noch in zwei im *Cosmos* [1]) publicirten Artikeln weiter ausgeführt. Auf eine Erwiderung von meiner Seite [2]) hat er dann freilich seinen Einwand dahin erläutert [3]), dafs er dadurch nur auf einen *scheinbaren* Widerspruch habe aufmerksam machen wollen, während er im Wesentlichen mit mir übereinstimme. Indessen glaube ich doch, dafs sein Einwand auf einer falschen Auffassung meines Grundsatzes beruht, einer Auffassung, die freilich einigermafsen nahe liegt, aber dadurch um so mehr eine eingehende Berichtigung nöthig macht.




Hirn beschreibt eine eigenthümliche Operation, welche er ersonnen hat, und deren Resultat, wie er meint, mit meinem Grundsatze in Widerspruche steht.

Es seyen zwei Cylinder von gleichem Querschnitte, *A* und *B* in der nebenstehenden Figur, gegeben, welche unten durch eine verhältnifsmäfsig enge Röhre in Verbindung stehen, und in welchen luftdicht schliefsende Stempel beweglich sind. Die Stempelstangen sollen mit Zähnen versehen seyn, welche von beiden Seiten in die Zähne eines zwischen ihnen befindlichen Zahnrades eingreifen, so

1) *Tome XXII (premier semestre* 1863) *p.* 283 und *p.* 413.
2) a. a. O. *p.* 560.
3) a. a. O. *p.* 734.

dafs, wenn der eine Stempel hinunter geht, der andere um eben so viel heraufgehen mufs. Der unter den Stempeln befindliche Raum in den beiden Cylindern, mit Einschlufs der Verbindungsröhre, mufs also bei der Bewegung der Stempel unveränderlich bleiben, indem mit einer Abnahme des Raumes in dem einen Cylinder eine eben so große Zunahme im andern verbunden ist.

Wir denken uns zuerst den Stempel in *B* ganz unten befindlich, und daher den in *A* möglichst weit oben, und nehmen an, der Cylinder *A* sey mit einem vollkommenen Gase von beliebiger Dichtigkeit angefüllt, dessen Temperatur $t_0$ heifsen möge. Nun soll der Stempel in *A* sich allmählich abwärts, und demgemäfs der in *B* sich aufwärts bewegen, so dafs das Gas nach und nach aus dem Cylinder *A* in den Cylinder *B* getrieben wird. Die Verbindungsröhre, durch welche das Gas strömen mufs, soll dabei constant auf einer Temperatur $t_1$ erhalten werden, die höher ist als $t_0$, so dafs jedes Gasquantum, welches die Röhre durchströmt, dabei auf die Temperatur $t_1$ erwärmt wird, und mit dieser Temperatur in den Cylinder *B* tritt. Die Wände der beiden Cylinder dagegen sollen für Wärme undurchdringlich seyn, so dafs das Gas innerhalb der Cylinder weder Wärme erhalten noch abgeben kann, sondern nur beim Durchströmen der Verbindungsröhre Wärme von Aufsen zugeführt erhält. Um in Bezug auf die Temperaturen ein bestimmtes Beispiel zu haben, wollen wir annehmen, die Anfangstemperatur des Gases im Cylinder *A* sey diejenige des Gefrierpunktes 0°, und die Temperatur der Verbindungsröhre sey 100°, indem die Röhre z. B. vom Dampfe kochenden Wassers umspült werde.

Es läfst sich nun ohne Schwierigkeit übersehen, was das Resultat dieser Operation seyn wird.

Die erste kleine Quantität Gas, welche die Verbindungsröhre passirt, erwärmt sich dabei von 0° auf 100°, und dehnt sich zugleich um so viel aus, wie es dieser Erwärmung entspricht, nämlich um angenähert $\frac{100}{273}$ ihres ursprünglichen Volumens. Dadurch wird das noch im Cy-

linder *A* befindliche Gas etwas zusammengedrückt und der in beiden Cylindern stattfindende Druck etwas erhöht. Die folgende kleine Quantität Gas, welche durch die Röhre strömt, dehnt sich ebenfalls aus, und drückt dadurch das in beiden Cylindern befindliche Gas zusammen. Ebenso trägt jede folgende überströmende Gasmenge durch ihre Ausdehnung dazu bei, nicht nur das noch in *A* befindliche Gas noch weiter zusammenzudrücken, sondern auch das schon in *B* befindliche, welches sich vorher ausgedehnt hatte, wieder mehr und mehr zusammenzudrücken, so dafs seine Dichtigkeit sich allmählich wieder der ursprünglichen nähert. Die Zusammendrückung bewirkt in beiden Cylindern eine Erwärmung des Gases, und da die Gasquantitäten, welche nach und nach in den Cylinder *B* treten, bei ihrem Eintritte alle die Temperatur 100° haben, so müssen sie nachträglich Temperaturen über 100° annehmen, und zwar mufs dieser Temperaturüberschufs um so gröfser seyn, je mehr die betreffende Quantität nachträglich wieder zusammengedrückt wird.

Betrachtet man daher den Zustand am Schlusse der Operation, nachdem alles Gas aus *A* nach *B* getrieben ist, so mufs das in der obersten Schicht dicht unter dem Stempel befindliche Gas, welches zuerst übergetreten ist, und daher die gröfste nachträgliche Zusammendrückung erlitten hat, am wärmsten seyn. Die folgenden sind der Reihe nach weniger warm bis zur untersten, welche gerade die Temperatur 100° besitzt, die sie beim Ueberströmen angenommen hat. Es ist für unsern vorliegenden Zweck nicht nöthig, die Temperaturen der verschiedenen Schichten einzeln zu kennen, sondern es genügt, die *Mitteltemperatur* zu kennen, welche zugleich diejenige Temperatur ist, die entstehen würde, wenn die in den verschiedenen Schichten herrschenden Temperaturen sich durch Leitung oder Vermischung der Gasquantitäten zu einer gemeinsamen Temperatur ausglichen. Diese Mitteltemperatur beträgt etwa 120°.

In einem der später im *Cosmos* erschienenen Artikel hat Hirn diese Operation noch dahin vervollständigt, dafs

er annimmt, das Gas in *B* werde nach seiner Erwärmung mit Quecksilber von 0° in Berührung gebracht, und dadurch wieder bis 0° abgekühlt; dann werde es unter denselben Umständen, unter denen es von *A* nach *B* gelangt war, von *B* nach *A* zurückgetrieben und dabei in gleicher Weise erwärmt; dort werde es wieder durch Quecksilber abgekühlt; darauf abermals von *A* nach *B* getrieben u. s. f., so daſs man einen periodischen Vorgang erhalte, bei dem das Gas immer wieder in seinen Anfangszustand zurückkehre, und alle von der Wärmequelle abgegebene Wärme schlieſslich in das zur Abkühlung benutzte Quecksilber übergehe. Indessen wollen wir auf diese Erweiterung des Verfahrens hier nicht eingehen, sondern uns auf die Betrachtung der vorher beschriebenen einfachen Operation beschränken, durch welche das Gas von 0° auf eine Mitteltemperatur von 120° erwärmt wird, indem diese Operation schon das Wesentliche, worauf der Einwand von Hirn sich stützt, enthält.

§. 8. Bei dieser Operation ist äuſserlich weder Arbeit gewonnen noch verloren, denn da der Druck in den beiden Cylindern immer gleich ist, so werden beide Stempel in jedem Momente mit gleicher Kraft nach oben gedrückt, und diese Kräfte heben sich an dem Zahnrade, in welches die Zähne der Stempelstangen eingreifen, auf, so daſs, abgesehen von der Reibung, die geringste Kraft genügt, um eine Drehung des Zahnrades im einen oder andern Sinne zu veranlassen, und dadurch einen Stempel hinunter und den anderen herauf zu treiben. Der Ueberschuſs der Wärme in dem Gase kann also nicht durch äuſsere Arbeit erzeugt seyn; und von einer inneren Arbeit kann schon deshalb nicht die Rede seyn, weil eine solche bei vollkommenen Gasen überhaupt nicht vorkommt.

Der Vorgang ist, wie man leicht sieht, folgender. Indem eine gegen die ganze vorhandene Gasmenge als sehr klein vorausgesetzte Quantität des Gases sich in der Röhre erwärmt, und sich dabei ausdehnt, muſs sie von der Wärmequelle soviel Wärme erhalten, wie zur Erwärmung *unter*

*constantem Drucke* nothwendig ist. Von dieser Wärmemenge dient ein Theil zur Vermehrung der wirklich im Gase vorhandenen Wärme, und ein anderer Theil wird zu der Ausdehnungsarbeit verbraucht. Da aber die Ausdehnung des in der Röhre befindlichen Gases eine Zusammendrückung des in den Cylindern befindlichen zur Folge hat, so muſs hier eben so viel Wärme erzeugt werden, als dort verbraucht wird. Jener zweite Theil der von der Wärmequelle abgegebenen Wärme, welcher sich in der Röhre in Arbeit umgesetzt hatte, kommt somit in den Cylindern wieder als Wärme zum Vorschein, und dient dazu, das noch in *A* befindliche Gas über seine Anfangstemperatur 0° zu erwärmen, und das schon in *B* befindliche Gas, welches beim Eintritte die Temperatur 100° hatte, über diese Temperatur zu erwärmen, und dadurch den oben erwähnten Temperaturüberschuſs hervorzubringen.

Demnach kann man, ohne auf die Zwischenvorgänge Rücksicht zu nehmen, sagen, daſs die ganze Wärmemenge welche das Gas zu Ende der Operation mehr enthält, als zu Anfang, aus der an der Verbindungsröhre angebrachten Wärmequelle stammt. Dadurch erhält man das eigenthümliche Resultat, daſs durch einen Körper von 100°, nämlich durch den die Röhre umspülenden Wasserdampf, das eingeschlossene Gas auf über 100°, und zwar, sofern wir nur die Mitteltemperatur ins Auge fassen, auf 120° erwärmt ist. Hierin findet Hirn einen Widerspruch gegen den Grundsatz, daſs die Wärme nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen kann, indem nach seiner Auffassung die Wärme, welche der Dampf dem Gase abgegeben hat, aus einem Körper von 100° in einen Körper von 120° übergegangen ist.

§. 9. Dabei hat er einen Umstand übersehen. Wenn das Gas schon zu Anfang eine Temperatur von 100° oder darüber gehabt hätte, und es dann durch den Dampf, welcher nur die Temperatur von 100° besitzt, zu einer noch höheren Temperatur erwärmt wäre, so läge darin allerdings ein Widerspruch gegen meinen Grundsatz. So verhält sich die Sache aber nicht. Damit das Gas zu Ende

der Operation wärmer als 100° sey, mufs es nothwendig zu Anfang kälter als 100° seyn, und in unserem Beispiele wo es am Schlusse die Temperatur 120° hat, hatte es zu Anfang die Temperatur 0°. Die Wärme, welche der Dampf dem Gase mitgetheilt hat, hat also einestheils dazu gedient, das Gas von 0° bis 100° zu erwärmen, und anderntheils dazu, es von 100° auf 120° zu bringen.

Da es sich nun in meinem Grundsatze um die Temperaturen handelt, welche die Körper, zwischen denen der Wärmeübergang stattfindet, in dem Momente haben, wo sie die Wärme abgeben oder aufnehmen, und nicht um die, welche sie nachträglich besitzen, so mufs man den bei dieser Operation stattfindenden Wärmeübergang folgendermafsen auffassen. Der eine Theil der vom Dampfe abgegebenen Wärme ist in das Gas übergegangen, so lange seine Temperatur noch unter 100° war, ist also aus dem Dampfe in einen kälteren Körper übergegangen; und nur der andere Theil der Wärme, welcher dazu gedient hat, das Gas von 100° an noch weiter zu erwärmen, ist aus dem Dampfe in einen wärmeren Körper übergegangen.

Vergleicht man dieses mit jenem Grundsatze, nach welchem, wenn ohne eine Verwandlung von Arbeit in Wärme oder eine Veränderung in der Molecularanordnung eines Körpers, Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen soll, dann nothwendig in derselben Operation auch Wärme aus einem wärmeren in einen kälteren Körper übergehen mufs, so sieht man leicht, dafs vollständige Uebereinstimmung herrscht. Das Eigenthümliche in der von Hirn ersonnenen Operation besteht nur darin, dafs in ihr nicht zwei verschiedene Körper vorkommen, von denen der eine kälter und der andere wärmer ist, als die Wärmequelle, sondern dafs ein und derselbe Körper, nämlich das Gas, in einem Theile der Operation die Rolle des kälteren, und im anderen Theile der Operation die Rolle des wärmeren Körpers spielt. Hierin liegt aber keine Abweichung von meinem Satze, sondern es ist nur ein specieller Fall von den vielen möglichen Fällen. Das Mifs-

verständnifs von Hirn ist dadurch entstanden, dafs er, anstatt die verschiedenen Temperaturen, welche das Gas im Laufe der Operation, nach einander besitzt, in Betracht zu ziehen, sein Augenmerk nur auf die Schlufstemperatur desselben gerichtet hat.

§. 10. Man kann den Gegenstand noch in etwas anderer Weise darstellen, wobei ein Begriff zur Sprache kommt, welchen ich in meiner letzten Abhandlung[1]) eingeführt habe, und welcher meiner Ansicht nach für die Wärmetheorie von grofser Wichtigkeit ist, nämlich der *Verwandlungswerth* der im Körper enthaltenen Wärme. Hierauf möchte ich zum Schlusse noch eingehen, da eine Erläuterung dieses Begriffes vielleicht besonders dazu beitragen kann, Mifsverständnissen der vorher besprochenen Art vorzubeugen.

Ich habe in meinen Abhandlungen einen Uebergang von Wärme aus einem Körper von einer Temperatur in einen Körper von einer anderen Temperatur eine *Verwandlung* genannt, indem man sagen kann, dafs sich dabei Wärme von einer Temperatur in Wärme von einer anderen Temperatur verwandle. Dadurch wird dieser Vorgang mit zwei andern Vorgängen, welche auch Verwandlungen genannt werden, in Parallelismus gestellt, nämlich mit der Verwandlung aus Wärme in Arbeit und umgekehrt, und mit derjenigen Verwandlung, welche ich mit dem Worte »Disgregationsänderung« bezeichnet habe. Um den Sinn der Wärmeübergänge auf eine angemessene Weise mathematisch unterscheiden zu können, habe ich den Uebergang aus einem wärmeren in einen kälteren Körper eine positive, und den Uebergang aus einem kälteren in einen wärmeren Körper eine negative Verwandlung genannt. Hiernach spricht sich der obige Grundsatz dahin aus, dafs die negative Verwandlung nicht von selbst, d. h. ohne eine in derselben Operation vorkommende positive Verwandlung, geschehen kann, während dagegen die positive Verwandlung sehr wohl ohne eine negative vor sich gehen kann.

1) Ueber die Anwendung des Satzes von der Aequivalenz der Verwandlungen auf die innere Arbeit. Diese Ann. Bd. CXVI, S. 73.

Wenn man dieses auf die oben beschriebene Operation in welcher durch Wärme, die aus Dampf von 100° herstammt, eine Quantität Gas auf 120° erwärmt wird, anwenden will, so entsteht die Frage, wie man die in einem Körper enthaltene Wärme betrachten mufs, wenn man ihre Temperatur bestimmen will. Darf man bei einem Körper von der Temperatur $t$ alle in ihm enthaltene Wärme einfach als Wärme von der Temperatur $t$ betrachten, oder mufs man dieser Wärme andere Temperaturen zuschreiben?

Wenn das erstere der Fall wäre, dafs nämlich die in einem Körper von der Temperatur $t$ enthaltene Wärme durchweg als Wärme von der Temperatur $t$ zu betrachten wäre, so würde man durch die oben beschriebene, von Hirn ersonnene Operation zu einem Resultate gelangen, welches meinem Grundsatze widerspräche. Dann müfste man nämlich folgendermafsen schliefsen. Die im Wasserdampfe enthaltene Wärme ist Wärme von 100°. Wenn durch einen Theil dieser Wärme das Gas auf 120° erwärmt ist, so befindet sich dieser Theil im Gase als Wärme von 120°, und es ist somit, welches auch die Zwischentemperaturen gewesen seyn mögen, schliefslich eine gewisse Wärmemenge aus Wärme von 100° in Wärme von 120° verwandelt.

Diese Auffassung ist aber nicht diejenige, von welcher ich bei der Formulirung des Satzes von der Aequivalenz der Verwandlungen ausgegangen bin.

Wenn man einen Körper erwärmt, so wird von der Wärme. welche man ihm dazu mittheilen mufs, im Allgemeinen ein Theil zu äufserer und innerer Arbeit verbraucht (sofern der Körper bei der Erwärmung sein Volumen und seine Molecularanordnung ändert) und der übrige Theil dient zur Vermehrung der im Körper wirklich vorhandenen Wärme. Den ersteren Theil brauchen wir hier jetzt nicht zu berücksichtigen, sondern wir können uns auf die Betrachtung des zweiten Theiles beschränken. Denken wir uns nun, dafs der Körper von irgend einer Anfangstemperatur $t_0$ zu einer anderen Temperatur $t$ erwärmt wird, so

nimmt er nicht alle dazu nöthige Wärme bei der Temperatur $t$ auf, sondern er nimmt die verschiedenen Elemente dieser Wärme bei verschiedenen, allmählich steigenden Temperaturen auf, so dafs jedem Wärmeelemente eine bestimmte Temperatur entspricht. Wird umgekehrt der Körper abgekühlt, so kann er ebenfalls nicht alle Wärme, welche er dazu abgeben mufs, bei einer und derselben Temperatur abgeben, sondern er giebt die verschiedenen Elemente bei verschiedenen, allmählich sinkenden Temperaturen ab.

Wenn man nun von der Temperatur der im Körper enhaltenen Wärme spricht, so darf man, meiner Auffassung nach, nicht der ganzen Wärmemenge eine und dieselbe Temperatur zuschreiben, sondern man mufs sich die ganze Wärmemenge in unendlich viele Elemente zerlegt denken, und für jedes Element diejenige Temperatur als die zugehörige betrachten, welche der Körper, wenn man ihn abkühlen würde, in dem Momente haben würde, wo er dieses Element abgäbe, und welche er auch umgekehrt, wenn man ihn wieder erwärmte, in dem Momente haben würde, wo er dieses Wärmeelement aufnähme.

§. 11. Ich habe in der erwähnten Abhandlung eine einfache mathematische Gröfse aufgestellt, in welcher die Temperaturen der einzelnen Wärmeelemente in der Weise berücksichtigt sind, wie es nach dem Satze von der Aequivalenz der Verwandlungen seyn mufs, und welche ich den *Verwandlungswerth* der Körperwärme genannt habe.

Stellen wir uns nämlich vor, die Wärme, welche dazu diente, den gegebenen Körper zu erwärmen (und von welcher wir, wie gesagt, nur den Theil betrachten, der nachher wirklich als Wärme im Körper vorhanden ist, und nicht den Theil, der etwa bei den mit der Erwärmung verbundenen Zustandsänderungen zu Arbeit verbraucht wurde), sey dadurch entstanden, dafs sich auf irgend eine Weise Arbeit in Wärme verwandelt habe, so können wir für jedes so erzeugte Wärmeelement den Aequivalenzwerth der Verwandlung angeben. Sey die Temperatur des Körpers, so-

fern sie vom *absoluten Nullpunkte* an gerechnet wird, mit $T$ bezeichnet, und denken wir uns, diese Temperatur solle um $dT$ erhöht werden, so wird die dabei stattfindende Vermehrung der wirklich im Körper vorhandenen Wärme durch das Product $mcdT$ dargestellt, worin $m$ die Masse des Körpers und $c$ seine wahre spec. Wärme bedeutet. Der Aequivalenzwerth derjenigen Verwandlung aus Arbeit in Wärme, durch welche dieses Wärmeelement entstanden ist, wird durch den Bruch

$$\frac{mcdT}{T}$$

ausgedrückt. Wenden wir dieses auf die Wärmemenge an, welche zu der im Körper vorhandenen Wärme hinzugefügt werden mufs, um ihn von einer gegebenen Anfangstemperatur $T_0$ bis zu einer anderen Temperatur $T$ zu erwärmen, so erhält man als Aequivalenzwerth der Verwandlung, durch welche diese Wärmemenge mit ihren von Element zu Element steigenden Temperaturen erzeugt ist, das Integral

$$\int_{T_0}^{T} \frac{mcdT}{T},$$

und dieses Integral habe ich den *Verwandlungswerth* der von der gegebenen Anfangstemperatur an gerechneten Körperwärme genannt.

Wenn man den Verwandlungswerth der ganzen im Körper überhaupt vorhandenen Wärmemenge bestimmen wollte, so müfste man sich denken, der Körper werde vom *absoluten Nullpunkte* an bis zu der betrachteten absoluten Temperatur $T$ erwärmt, und man müfste also in dem vorigen Integrale als untere Gränze 0 setzen. Dadurch würde, da das im Zähler stehende Product $mc$ nicht Null werden kann, der Werth des Integrales unendlich grofs werden. Es ist daher, wenn man einen endlichen Werth für das Integral erhalten will, nothwendig, von einer *endlichen* absoluten Temperatur als unterer Gränze auszugehen, und somit nicht den Verwandlungswerth der ganzen im Körper

vorhandenen Wärme zu bestimmen, sondern nur den Verwandlungswerth derjenigen Wärmemenge, welche der Körper bei seiner gegenwärtigen Temperatur mehr besitzt, als bei jener zum Ausgangspunkte der Erwärmung gewählten Temperatur.

Die Ausführung der Integration wird durch Zuhülfenahme eines von mir gezogenen Schlusses sehr einfach. Ich habe nämlich aus Gründen, auf die ich hier nicht eingehen will, geschlossen, dafs die wahre spec. Wärme eines Körpers nicht nur von seiner Molecularanordnung sondern auch von seiner Temperatur unabhängig sey. Man kann daher die wahre spec. Wärme $c$ zusammen mit der Masse $m$ als Factor vor das Intregralzeichen setzen, wodurch das Integral übergeht in:

$$mc\int_{T_0}^{T}\frac{dT}{T} = mc\log\frac{T}{T_0}.$$

Wenn man indessen diese letzte Vereinfachung auch noch nicht als hinlänglich begründet zugeben, und vielmehr $c$ noch als eine unbekannte Function der Temperatur betrachten wollte, so würde dadurch nur die Form des Ausdruckes für den Verwandlungswerth der Körperwärme etwas geändert werden, ohne dafs der mit diesen Worten bezeichnete Begriff selbst eine wesentliche Aenderung erlitte.

Nach Einführung dieses neuen Begriffes kann man diejenigen Aenderungen, welche in der Vertheilung der Wärme von selbst eintreten können, sehr leicht und vollkommen scharf charakterisiren. Denkt man sich irgend einen Procefs, welcher so beschaffen ist, dafs schliefslich keine anderen Verwandlungen übrig bleiben, als Wärmeübergänge zwischen Körpern von verschiedenen Temperaturen, indem alle sonstigen Verwandlungen, welche im Laufe des Processes etwa vor sich gehen, durch entgegengesetzte Verwandlungen, welche in demselben Processe vorkommen, wieder aufgehoben werden, so kann man von den Wärmeübergängen und der dadurch entstehenden Veränderung

in der Vertheilung der Wärme folgenden allgemeinen Satz aussprechen. Die durch einen solchen Procefs in der Vertheilung der Wärme eintretende Aenderung kann nur von der Art seyn, *dafs die Summe der Verwandlungswerthe der Wärme in den betreffenden Körpern dadurch zunimmt oder, als Gränzfall, ungeändert bleibt*; aber nie von der Art, *dafs die Summe der Verwandlungswerthe dadurch abnimmt.*

Wenn man in diesem Sinne das Resultat der oben betrachteten Operation prüft, bei welcher durch Wärme, die aus Dampf von 100° herstammt, eine Quantität Gas von 0° auf 120° erwärmt wird, so wird man finden, dafs auch hier die Summe der Verwandlungswerthe der im Dampfe und im Gase enthaltenen Wärme zunimmt, und dafs somit der Satz von der Aequivalenz der Verwandlungen und der Grundsatz, aus welchem er abgeleitet ist, durch diese Operation nur bestätigt wird.

---

## V. *Die Refractionsanomalien des Auges und ihre Folgen;*

*von* F. C. Donders,

Prof. d. Physiologie und Augenheilkunde an d. Universität zu Utrecht.

---

Zu wiederholten Malen haben wir über Anomalien in der Refraction des Auges, ihre Erscheinungen und Folgen gehandelt [1]). In den betreffenden Arbeiten sind die Resul-

1) F. C. Donders, *Nederl. Tijdschr. voor Geneeskunde. Deel II*, 1858, *p.* 465. — Derselbe: *Ametropie en hare gevolgen.* 8°. Utrecht, van der Post. 1860. — Derselbe: *Archiv f. Ophthalmologie*, herausgegeben von Arlt, Donders en v. Gräfe. Bd. IV, VI, VII, VIII. — Derselbe: *Verslagen en Mededeelingen van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen. D. XI, p.* 159, *D. XIV, p.* 351, *D XVI etc. Amsterdam.* — Derselbe: *Astigmatisme en*

tate einer vor sechs Jahren angefangenen Untersuchung, zu der viele tausende von Augen verwendet wurden, und an der sich auch einige meiner Schüler betheiligten, zum Theile enthalten.

Der behandelte Gegenstand gewann durch diese Untersuchung sehr an Umfang; unsere Kenntnifs desselben wurde aber nebenbei durch Anweisung des Zusammenhanges von Ursachen und Folgen gründlicher, sowie die Uebersicht leichter.

Das Meiste wurde mit specieller Rücksicht auf die Bedürfnisse des Augenarztes geschrieben. Hier habe ich versucht einen kurzen Umrifs des Systems zu liefern, insofern es besonders den Physiker und den Physiologen interessiren konnte.

### 1. Emmetropie und Ametropie.

I. Die Augen werden in emmetropische und ametro-

*cilindrische glazen*, 8°. Utrecht, van der Post, 1862. Deutsch von Dr. Schweigger bei Peters, Berlin. — Französisch von Dr. Dor, bei Germer Baillière. Paris. — De Ruyter, *De Actione Atropae Belladonnae in iridem. Diss. inaug.* 1854. (S. *Nederl. Lancet. D. III*). — Mac. Gillavry, *Over de hoegrootheid van het accomodatievermogen. Diss. inaug.* Utrecht. 1858. — A. H. Kuyper, *Onderzoekingen betrekkelijk de kunstmatige verwijding van den oogappel. Diss. inaug.* Utrecht, 1859. — H. de Brieder, *De stoornissen der Accomodatie van het oog. Diss. inaug.* Utrecht, 1861. — De Haas, *Geschiedkundig onderzoek omtrent de Hypermetropie en hare gevolgen. Diss. inaug.* Utrecht, 1862. — F. C. Donders en D. Doyer. *De ligging van het draaipunt van het oog* (in emmetropische en ametropische oogen), in *Verslagen en Mededeelingen van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen.* Deel XIV, p. 351. 1862., *en Archiv f. d. Holl. Beitr.* 1862. — *H. A. Middelburg, De Zitplaats van het astigmatisme. Diss. inaug.* Utrecht 1863. — Dr. Dor, *Des différences individuelles de la réfraction de l'oeil. Journal de Physiologie* von Brown-Séquard. Paris, 1860.

Noch verdienen hier erwähnt zu werden: Dr. H. Snellen, *Letterproeven ter bepaling der gezigtsscherpte.* Utrecht, 1862. — J. Vroesom de Haan, *Onderzoek naar den invloed van den leeftijd op de gezigtsscherpte.* Utrecht, 1862.

pische unterschieden. Bei der Emmetropie E [1]) liegt der hintere Brennpunkt $\varphi''$ des dioptrischen Systems, im Ruhestande der Accommodation, gerade in der Netzhaut; bei der Ametropie liegt $\varphi''$ vor (Myopie M) oder hinter der Netzhaut (Hypermetropie H).

II. Der *Fernpunkt des deutlichen Sehens r* liegt mithin für E in unendlicher Entfernung, für M in endlicher vor, und für H in endlicher hinter der Netzhaut. Die Entfernung des Auges (und zwar bestimmter des vorderen Knotenpunktes $k'$) von $r$ ist R. Bei M ist R positiv, bei H negativ, bei E unendlich.

Der *Nahepunkt des deutlichen Sehens* ist $p$; seine Entfernung von $k'$ ist P. Die Accomationsbreite ist $\frac{1}{P} - \frac{1}{R} = \frac{1}{A}$.

III. Der Punkt $r$ wird bei parallelen Gesichtslinien bestimmt, d. h. durch Bestimmung der Gläser, die nöthig sind, um Lichtpunkte oder feine Linien in grofser Entfernung scharf zu sehen. Um $p$ zu finden, nimmt man am besten feine Drähte oder sehr kleine Lichtpunkte, reflectirte Lichtpunkte von Quecksilberkügelchen, auf schwarzen Sammet ausgestrichen, die beim freien Sehen dem Auge so

1) Wir haben uns folgende Abkürzungen erlaubt: E Emmetropia. — M Myopia. — H Hypermetropia. — Hm Hypermetropia manifesta. — Hl Hypermetropia latens. — Ht Hypermetropia totalis — As. Astigmatismus. — Pr. Presbyopie. — $p$. Punctum *proximum*, nächster Punkt des deutlichen Sehens. — $r$. Punctum *remotissimum*, fernster Punkt des deutlichen Sehens. — P. Entfernung von $p$ bis $k'$, vorderen Knotenpunkt. — R. Entfernung von $r$ bis $k'$. — $\frac{1}{A}$. Absolute Accomodationsbreite. — $\frac{1}{A_1}$. Relative Accomodationsbreite. — $\frac{1}{A_2}$. Binoculare Accomodationsbreite. — $\varrho^*$. Krümmungsradius der Hornhaut in der Sehlinie. — $p_1$. Relativ nächster Punkt. — $p_2$. Binocular nächster Punkt. — $r_1$. Relativ fernster Punkt. — $r_2$. Binocular fernster Punkt. — $P_1$. Entfernung von $p_1$ bis $k'$. — $P_2$. Entfernung von $p_2$ bis $k''$, hinterem Knotenpunkt. — $R_1$. Entfernung von $r_1$ bis $k'$. — $R_2$. Entfernung von $r_2$ bis $k''$. — c. Convergenzpunkt der Sehlinien. — $\varphi'$. Vorderer Brennpunkt. — $\varphi''$ Hinterer Brennpunkt. — $l$. Brennweite einer gläsernen Linse. — $l'$ Brennweite einer Hülfslinse des Auges.

lange genähert werden, bis das Bild anfängt an Schärfe zu verlieren. Diefs soll bei nahezu der stärksten Convergenz der Gesichtslinien geschehen; bei H und öfters auch bei E werden daher bei der Bestimmung von *p* convexe Gläser nöthig seyn, um deren Wirkung der gefundene Punkt reducirt werden mufs.

IV. Die Messung des Krümmungsstrahles $\varrho^0$, an 200 Hornhäuten von emmetropischen und stark ametropischen Augen mit dem Ophthalmometer von Helmholtz ausgeführt, hat ergeben, dafs in der Gesichtslinie der Radius bei Ametropie und Emmetropie nahezu gleich ist.

Als Mittel wurden gefunden, bei:

| | Männer. | Frauen. |
|---|---|---|
| Emmetropen | $\varrho^0 = 7{,}785^{mm}$ | $7{,}719^{mm}$ |
| Myopen | $\varrho^0 = 7{,}874$ | 7,867 |
| Hypermetropen | $\varrho^0 = 7{,}96$ | 7,767. |

V. In myopischen Augen liegt die Linse tiefer, und dadurch wird die Brennweite des Systems etwas gröfser; die Brennweite der Linse ist nicht kleiner gefunden worden. Im hypermetropischen Auge liegt die Linse der Hornhaut näher, weshalb die Brennweite des Systems in dem Falle kleiner wird.

VI. Aus IV und V wird per exlusionem der Schlufs gezogen, dafs die Sehaxe im myopischen Auge länger, im hypermetropischen dagegen kürzer ist. Diefs ist auch direct bewiesen worden: *a*) durch Bestimmung der Form des Augenapfels während des Lebens, die manchmal ausführbar ist, wenn die Gesichtslinie soweit wie möglich nach innen geführt wird; *b*) durch Messung nach dem Tode an zahlreichen Fällen von M und einigen von H; *c*) durch Berechnung aus der (durch den Krümmungsstrahl $\varrho^0$ bekannten) Brennweite der Hornhaut eines Auges ohne Linse (Aphakie) und aus der des Glases, welches nöthig ist, um den Brennpunkt auf die Netzhaut fallen zu lassen, und zwar Augen, deren Ametropie vor der Extration der Linse bestimmt werden konnte. Möglich ist, dafs H mitunter

auch durch eine gröfsere Focal-Distanz einer flacheren Linse verursacht wird.

VII. Die Hornhaut verursacht nur bei Krankheiten derselben M, mitunter auch wohl H; ihre Brechung ist dann auch meistens sehr unregelmäfsig. Im Folgenden sind diese relativ höchst seltenen Fälle von M und H ausgeschlossen.

VIII. Die individuellen Unterschiede der emmetropischen Augen sind so gering, dafs man sich, nach dem Beispiele von Listing, erlauben darf, den meisten Berechnungen ein schematisches Auge zu Grunde zu legen. Bei M und H weicht nur hauptsächlich die Länge der Sehaxe ab; dieselbe Lage der kardinalen Punkte kann daher angenommen werden.

IX. Die Grade von H und M werden als $\frac{1}{r}$ bestimmt, wobei $r$ die Brennweite (positive oder negative) einer unendlich dünnen Linse ist, die in Luft stehend und mit $k'$ zusammenfallend gedacht wird, Der Werth von $r$ wird in Pariser Zoll ausgedrückt. $M = \frac{1}{5}$, $H = \frac{1}{10}$, bedeutet M bei welcher eine Linse von 5" negativer, H wobei eine Linse von 10" positiver Brennweite (beide in $k'$ gedacht) zur Correction erfordert wird, d. h. um den Brennpunkt auf die Netzhaut fallen zu lassen oder, mit anderen Worten, um in unendlicher Ferne deutlich zu sehen.

X. Die Stärke der Gläser wird auf dieselbe Weise durch $\frac{1}{l}$ angegeben. Gläser von $\frac{1}{7}$, von $\frac{1}{9}$, sind Gläser von 7" positiver, von 9" negativer Brennweite.

XI. Ungefähr gegen das 50. Lebensjahr geht E allmählich in H über. Diese erworbene H erreicht aber im höchsten Alter selten mehr als $\frac{1}{20}$. Sie hängt nicht vom Flacherwerden der Hornhaut ab, deren Krümmungsstrahl bei alten Leuten vielmehr etwas abnimmt. Wir fanden nämlich:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bei 79 Männern | | | | im Mittel | $\rho^0$ | = 7,858 |
| » 20 | » | unter 20 Jahren | » | » | » | = 7,932 |
| » 51 | » | » 40 | » » | » | » | = 7,882 |
| » 28 | » | über 40 | » » | » | » | = 7,819 |
| » 11 | » | » 60 | » » | » | » | = 7,809 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bei 38 Frauen | | | im Mittel $\varrho^0$ | = 7,798 |
| » 6 » | unter 20 Jahren | » | » » | = 7,720 |
| » 22 » | » 40 | » | » » » | = 7,799 |
| » 16 » | über 40 | » | » » » | = 7,799 |
| » 2 » | » 60 | » | » » » | = 7,607 |

Gröfsere Brennweite der Linse, theils durch Abflachung derselben, theils durch Verhärtung mit *wachsendem* Lichtbrechungscoëfficienten der *äufsern* Schichten bewirkt, so wie Verkürzung der Sehaxe in *sehr* hohem Alter, sind als Ursachen der erhaltenen (nicht angebornen) H zu betrachten.

XII. M ist oft erblich, fast immer als wirklich oder in der Disposition angeboren, nimmt in den Entwickelungsjahren zu und bleibt trotz der später zunehmenden Brennweite der Linse (XI) während des ganzen Lebens progressiv, wenn sie in hohem Grade ($\frac{1}{5}$ oder mehr) vorkommt. Als solche und sogar bei geringeren Graden, ist M eine Krankheit des Auges, auf zunehmender krankhafter Ausdehnung der Membranen beruhend, verbunden mit ophthalmoskopisch (mit dem Augenspiegel) wahrnehmbarer Atrophie und oft mit entzündlichen Erscheinungen im Augengrunde und mancherlei Abweichungen mehr oder weniger nothwendig mit sich führend.

XIII. M kommt in allen Graden von $\frac{1}{\infty}$ (emmetropisches Auge) bis $\frac{1}{1,3}$ vor. Grade von $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ und sogar von $\frac{1}{2,5}$ sind nicht selten. Alle Gränzen zwischen hohen und niederen Graden sind willkührlich. Bei $\frac{1}{\infty}$ hat die Sehaxe eine Länge von 22 bis 23$^{mm}$, bei M $\frac{1}{1,3}$ ungefähr von 37$^{mm}$. Bei hohen Graden von M ist, wie die ophthalmoskopische Untersuchung lehrt, M im höheren Grade vorhanden beim directen Sehen, (d. h. im gelben Fleck) als beim indirecten Sehen: die Ausdehnung der Membrane ist an dem hinteren Pole am stärksten.

XIV. H ist meistens erblich, dann auch wahrscheinlich

angeboren, und nimmt namentlich nach dem fünfzigsten Jahre, zur Zeit, wo sich, bei ursprünglich vorhandener E, H erst zu entwickeln anfängt (XI), etwas zu. Die geringsten Grade kommen am häufigsten vor; Grade von $\frac{1}{6}$ sind schon ziemlich selten; solche von $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ oder noch stärkere werden nur ausnahmsweise angetroffen.

XV. H wird zunächst in *manifeste* Hm, und *latente* Hl unterschieden. Nur bei Hm wird mit positiven Gläsern deutlicher in der Entfernung gesehen, bei Hl werden sie geweigert. H ist nämlich bei Hl durch instinctmäfsige, von der Gewohnheit beherrschte und nicht willkührlich aufzuhebende Anstrengung der Accommodation unterdrückt.

XVI. Je gröfser $\frac{1}{A}$, um so höhere Grade von H werden ganz latent. Sogar mäfsige Grade sind aber schon theilweise manifest, beim Aelterwerden immer und bleibend wegen Abnahme von $\frac{1}{A}$, aber auch temporär schon in der Jugend besonders durch Ermüdung von der Anstrengung.

XVII. Lähmung der Accommodation, zeitlich durch Einträufelung von sulphas atropini hervorgerufen ($\frac{1}{120}$, d. h. 1 Th. sulph. atr. auf 120 Th. Wasser) läfst die H nach 1 oder 2 Stunden vollkommen manifest werden. Wenn $\frac{1}{A}$ sehr grofs ist, so kann Hm dadurch von $\frac{1}{\infty}$ bis auf $\frac{1}{8}$ und sogar $\frac{1}{6}$, von $\frac{1}{16}$ auf $\frac{1}{5}$ usw. steigen. — Bei E und bei M nimmt die Refraction durch Lähmung der Accomodation kaum um $\frac{1}{80}$ ab.

XVIII. Hm ist weiter *absolut*, wobei, trotz der intensivsten Accomodationsanstrengung, $\varphi''$ hinter der Netzhaut liegt, oder *relativ*, wobei ein scharf gesehener Punkt $p'$ mehr von dem Auge entfernt ist als der Convergenzpunkt der Gesichtlinien c, oder *facultativ*, und kann dann durch die Accommodation ganz verborgen werden, ohne dafs aber schwache positive Gläser für das Sehen in der Ferne geweigert werden. H, in jugendlichem Alter facultativ, wird beim Abnehmen von $\frac{1}{A}$ bald relativ, später absolut.

XIX. H wurde von Jamin (1772) und Ware (1813) beobachtet und richtig charakterisirt, blieb aber später unerwähnt und wurde erst von Ruete (1854) unvollkommen, von Stellwag von Carion und von v. Graefe besser verstanden. Unsere Beobachtungen lehrten, dafs geringe und mäfsige Grade von H sehr häufig sind, sogar öfter angetroffen werden als M, mitunter ganz latent sind und einige Male schon bei der latenten Form, zwei wichtige, früher nicht erklärte Anomalien bedingen: *convergirendes Schielen* und *Asthenopie*, oder hebetudo (Ermüdung bei Anstrengung für die Nähe).

XX. Die Ursache, warum H, trotz ihres häufigen Vorkommens, so lange verborgen blieb, mag wohl darin gelegen seyn, dafs bei *sehr hohen* Graden von H kleine Gegenstände, z. B. Druckschrift von mittlerer Gröfse, — theils wegen der schnelleren Zunahme des Gesichtswinkels als der Zerstreuungskreise (von Graefe), theils wegen der zukommenden Verengerungen der Pupille — nahe beim Auge besser gesehen werden als in einiger Entfernung, was man als M mit Sehschwäche betrachtete; und weiter daher, dafs die geringeren Grade von H in der Jugend latent sind und später mit Presbyopie verwechselt wurden.

### 2. Accommodationsbreite (absolute, relative, binoculare) bei Emmetropie und Ametropie.

XXI. Das Accommodationsvermögen beruht auf einer Formveränderung, einer Zunahme der Convexität, der Linse, was Young aus guten Gründen annahm, von Langenbeck, namentlich aber von Cramer für die vordere Fläche aus der Veränderung ihres Reflexionsbildes direct nachgewiesen wurde, und Helmholtz auch für die hintere Fläche bewies (in geringerem Grade), für die beiden Flächen mafs und so grofs fand, dafs die üblichen Gränzen der Accommodation daraus wohl erklärt werden konnten.

XXII. Formveränderung der Hornhaut kommt bei der Accommodation nicht vor; Verlängerung der Sehaxe wurde schon von Thomas Young widerlegt. Die Accommoda-

tion scheint daher *ausschliefslich* auf Formveränderung der Linse zu beruhen. Knapp fand die sorgfältig an vier Augen gemessene Formveränderung der Linse ziemlich entsprechend der zugleich durch Sehversuche bestimmten $\frac{1}{A}$.

XXIII. Bisher nahm man gewöhnlich noch einen gewissen Grad der Accommodation bei Abwesenheit der Linse (Aphakie) an. Wir haben dargethan, dafs in diesem Zustande, sogar bei jugendlichen Individuen, nicht die geringste Spur von Accommodation vorhanden ist: bei Anstrengung zur Accommodation, kennbar aus zunehmender Convergenz durch Bewegung des einen (bedeckten) Auges und aus Verengerung der Pupille beider Augen, behielt ein entfernter vermittelst eines passenden Glases scharf gesehener Lichtpunkt ganz dieselbe Form als bei parallelen Gesichtslinien ohne irgend eine Anstrengung, obgleich Gläser von $\frac{1}{100}$ (combinirt aus $\frac{1}{50}$ mit $-\frac{1}{60}$ oder umgekehrt) hinreichten, um eine deutliche Formveränderung hervorzubringen.

Hierin liegt der positive Beweis, dafs die Accommodation *ausschliefslich* durch Formveränderung der Linse bedingt wird.

XXIV. $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$ (siehe III.) ist der Ausdruck für das dioptrische Vermögen einer positiven Linse, welche dem Auge durch die Accommodation zugefügt wird. Diese Weise die Accommodationsbreite vorzustellen, stimmt mit der wirklichen Veränderung bei der Accommodation überein, die man durch die Hinzufügung eines positiven Meniscus als Hülfslinse auf der vorderen Fläche der Linse entstehend vorstellen kann.

XXV. Diese Hülfslinse $\frac{1}{l'}$ (wobei $l'$ ihre Brennweite bedeutet) ist jedoch nicht vollkommen gleich $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$. Aus den Werthen von P und R und $\frac{1}{l'}$ (beide aus der Form der während des Lebens gemessenen Linse derselben Person bei Accommodation für die Ferne und Nähe be-

rechnet) ging hervor, dafs im emmetropischen Auge $\frac{1}{A} : \frac{1}{l'}$ $= \frac{1}{9} : \frac{1}{10}$.

XXVI. $\frac{1}{l'} : \frac{1}{A}$ ist weiterhin etwas verschieden bei M und H. Nehmen wir für die kardinalen Punkte gleiche Lage an, so stellt gleiche Formveränderung der Linse im myopischen Auge eine etwas kleinere, im hypermetropischen eine etwas gröfsere Accommodationsbreite vor als im emmetropischen. (Bei hohen Graden von H, und bei den höchsten Graden von M, findet man für $\frac{1}{l'}$ und für $\frac{1}{A}$ beide, meistens einen kleineren Werth).

XXVII. Ein Unterschied im Werthe von $\frac{1}{A}$ bei M und H mäfsigen Grades ist jedoch empirisch nicht gefunden worden; folglich scheint $\frac{1}{l'}$ bei Myopen absolut etwas gröfser.

XXVIII. P und R, modificirt durch den Gebrauch von convexen oder concaven Linsen, nennen wir $P_0$ und $R_0$. Beim Gebrauche von concaven Gläsern werden $P_0$ und $R_0$ gröfser, bei dem von convexen kleiner als P und R.

Weiter ist $\frac{1}{P} - \frac{1}{R_0}$ nicht $= \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$, sondern gröfser bei Anwendung von concaven, kleiner beim Gebrauche von convexen Gläsern, und zwar um so mehr, je entfernter die Gläser vom Auge sind.

Durch Lupen nimmt $\frac{1}{A}$ noch mehr ab. Wie wenig beim Sehen durch Mikroskope, Fernröhre und Teleskope übrig bleibt, findet man leicht, wenn gegeben sind:

$\frac{1}{A}$.
$F'$ Brennweite des Objectivs.
$F''$ » des Oculars.
x Entfernung des Objectivs vom Ocular.
y » des Oculars vom $k'$.

XXIX. Die verschiedenen Grade von M, H und $\frac{1}{A}$ können graphisch auf folgende Weise vorgestellt werden.

Die Zahlen 2 bis $\infty$ (Fig. 3 Taf. IV) deuten die Entfernungen der Punkte des deutlichen Sehens vor $k'$, die von $\infty$ bis 4 die hinter $k'$ an. Jede der Linien $a$, $b$, $c$ und $d$ vereinigt $p$ und $r$; die Accommodationsbreiten sind den Längen dieser Linien proportional. Die Linien $a$ repräsentirt E mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{4}$, $b$ ebenfalls E mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{24}$ (Presbyopie), $c$ stellt $M = \frac{1}{12}$ vor, mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{3} - \frac{1}{12} = \frac{1}{4}$, $d$ endlich $H = \frac{1}{12}$ mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{12} + \frac{1}{12} = \frac{1}{6}$.

XXX. Die Accommodationsbreite $\frac{1}{A}$ ist die absolute. Bei einer gewissen Convergenz der Gesichtslinien finden wir $p_1$ und $r_1$ sowie ihre Entfernungen von $k'$, $P_1$ und $R_1$ endlich $\frac{1}{A_1} = \frac{1}{P_1} - \frac{1}{R_1}$ als die *relative* Accommodationsbreite *bei einer gegebenen Convergenz.* — Weiter unterscheiden wir den binocularen Fernpunkt und Nahepunkt (für beide Augen zugleich) $p_2$ und $r_2$, ihre Entfernungen von $k'$, $P_2$ und $R_2$ und die binoculare Accommodationsbreite $\frac{1}{P_2} - \frac{1}{R_2} = \frac{1}{A_2}$.

XXXI. Fig. 4 Taf. IV zeigt den Verlauf der Nahepunkte $p_1$ $p_2$ $p$ und der Fernpunkte $r$ $r_1$ $r_1$ bei verschiedener Convergenz, in einem gut accommodirenden emmetropischen Auge eines intelligenten 15jährigen Individuums (s. XXXIV). Die Zahlen haben dieselbe Bedeutung wie oben; die unterhalb der Figur vorkommenden gehen die Winkel im Convergenzpunkte der Gesichtslinien an, unter Annahme einer Entfernung von $28\frac{1}{2}''$ zwischen den parallelen Gesichtslinien beider Augen berechnet. Die verticalen Linien, welche die Convergenzen angeben, schneiden sich mit den horizontalen, welche die diesen Covergenzen entsprechenden Entfernungen angeben, auf der Diagonale KK'. Die anderen Buchstaben sind bekannt.

XXXII. Kennt man die Linien $p_1$ $p_2$ $p$ und $r$ $r_1$ $r_1$, in Bezug auf die Convergenzen, so ist alles auf die Accom-

modation Bezügliche bekannt. So wird aus Fig. 4 Taf. IV hergeleitet:

E

$\frac{1}{A} = 1 : 3\frac{9}{13}$.

$\frac{1}{A_2} = 1 : 3\frac{27}{31}$.

$\frac{1}{A_1}$ bei $11^0\ 21' = 1 : 5\frac{7}{8}$, usw.

XXXIII. Fig. 4 Taf. IV lehrt uns weiter, dafs $\frac{1}{A_1}$ bis an $p_2$ zum Theile über, zum Theile unter K K' liegt; jener ist der positive, dieser der negative Theil der relativen Accommodationsbreite. Accommodation kann nur für eine Entfernung angehalten werden, deren positiver Theil von $\frac{1}{A_1}$ nicht zu klein ist in Verhältnifs zum negativen.

XXXIV. Um die Linien $p_1$ $p_2$ $p$ und $r$ $r_1$ $r_1$ zu finden, mufs man, aufser $p$ und $r$, mit verschiedenen convexen und concaven Gläsern $p_0$ und $r_0$ bestimmen, jedesmal die entsprechenden Convergenzen notiren, und daraus (durch Reduction von $p_0$ und $r_0$ je nach der Brennweite der angewendeten Gläser und ihrer Entfernung von dem Auge) die den Convergenzen entsprechenden $p_1$ und $r_1$ berechnen. Die schwarzen Punkte sind die auf diese Weise gefundenen (Fig. 4 und 5).

XXXV. Diese Bestimmungen machte ich mit einem Optometer, in dem die Gläser (welche jedesmal so weit von einander gestellt wurden, als die parallelen Sehaxen der untersuchten Augen), 0,5 von $k'$ entfernt, in Aushöhlungen bewegt wurden, die als Bogen aus den Drehpunkten der Augen beschrieben waren, so dafs das Glas stets gleichweit von $k'$ entfernt blieb und die Sehaxen bei jeder Convergenz mit den Axen der Gläser zusammenfielen.

XXXVI. Die Abweichung in der Form der Linien $p_1$ $p_2$ $p$ und $r$ $r_1$ $r_1$ bei M (Fig. 5 Taf. IV M) und H (Fig. 5 H) ist sehr merkwürdig.

Es geht daraus hervor, dafs Myopen bei geringen Con-

vergenzgraden viel weniger, Hypermetropen viel mehr accommodiren können und müssen als Emmetropen (Fig. 4). Bei Hypermetropen hat man nach der Paralyse nur den Punkt $r$ zu bestimmen als $r_{\prime\prime}$ den Fernpunkt der totalen H, in Fig. 5 angegeben. Die Punkte $r_{\prime}$ ($r_{1m}$ in der Figur) liegen höher, als diefs der Fall seyn würde, wenn H nicht zum grofsen Theile latent wäre, und sind darum in der Figur als $r_{1m}$ angedeutet (das ist $r_1$ bei manifester H). Der latente Theil wird bei parallelen Gesichtslinien als verticale Entfernung von $r_m$ und $r_1$ vorgestellt und beträgt in unserem Falle $\frac{1}{11}$, während die totale Hypermetropie H oder $H_{\prime} = \frac{1}{7{,}5}$ ist.

XXXVII. Die Abweichung in der Form der Linien ist Folge von Uebung. Myopen üben sich darin, dafs sie bei geringer Convergenz sehr wenig, Hypermetropen dagegen, dafs sie sehr viel dabei accommodiren. Durch den constanten Gebrauch von corrigirenden Brillengläsern nähert sich die Form der Linien mehr und mehr der von Emmetropen. Ein kurz währender Gebrauch von Brillengläsern zeigt schon seinen Einflufs.

XXXVIII. Die Form der Linien $p_1$ $p_2$ $p$ und $r$ $r_1$ $r_2$ bei Ametropen zeigt, dafs das Auge beim Neutralisiren der Ametropie durch concave oder convexe Gläser einem emmetropischen Auge nicht gleich geworden ist.

XXXIX. Diefs erklärt, warum nicht jede Ametropie unmittelbar ganz neutralisirt werden darf. Um diefs deutlich einzusehen, bringe man $r$ bei Ametropie (Fig. 5) auf $\infty$ und reducire die Linien demgemäfs. — Indessen erhält man dabei nicht vollkommen, was beim Neutralisiren der Ametropie wirklich erhalten wird (s. XXVIII).

### 3. Sehschärfe und Projection bei Emmetropie und Ametropie.

XL. Die Sehschärfe S von verschiedenen Individuen wird verglichen durch Bestimmung des kleinsten Winkels unter dem sie Gegenstände von bekannter Form bei gehöriger Beleuchtung erkennen. Als Gegenstände können vier-

eckige Buchstaben benutzt werden (siehe Buchstaben-Proben von Snellen), wobei man das Erkennen dadurch controliren kann, dafs man die Buchstaben hersagen läfst. Das normale Auge erkennt die Buchstaben unter einem Winkel von fünf Minuten, manche schon unter einem etwas kleineren Winkel.

Die Buchstabenproben von Snellen sind mit der Entfernung D bezeichnet, in welcher sie sich unter einem Winkel von 5' zeigen. Bestimmt man nun die Entfernung *d*, in welcher ein Auge sie erkennt, so findet man die Sehschärfe $S = \frac{d}{D}$. Bei vollkommener Sehschärfe ist $d = D$ und $S = 1$.

XLI. Bei M ist S *oft* unvollkommen, bei $M > \frac{1}{6}$ *gewöhnlich*, es sey dann, dafs M angeboren und das Individuum noch sehr jung sey; bei $M > \frac{1}{5}$ ist die Unvollkommenheit *Regel*, bei $M > \frac{1}{4}$ *Regel ohne Ausnahme*.

XLII. Bei M sind die Netzhautbilder für gleiche Winkel, unter denen die Gegenstände gesehen werden, bei der gröfseren Entfernung von $k''$ von der Netzhaut, gröfser. Von der anderen Seite aber ist auch die Netzhaut in Folge der Ausdehnung gröfser, und enthält daher in einer gegebenen Fläche weniger percipirende Elemente. Bei vollkommener Compensation dieser beiden Factoren würden die Netzhautbilder gleiche Gröfse behalten können und S gleich bleiben. Dafs S bei starken Graden von M in der Gesichtslinie fast stets abnimmt, ist, abgesehen von krankhaften Veränderungen, aus der anatomisch constatirten gröfseren Ausdehnung in der Gegend der macula lutea zu erklären.

XLIII. Bei der Bestimmung mit concaven, die Myopie neutralisirenden, Gläsern fällt S noch geringer aus, weil (das Glas mit zum dioptrischen Systeme gerechnet) der zweite Knotenpunkt näher bei der Netzhaut liegt und die Netzhautbilder mithin kleiner werden. Je näher die Gläser bei $k'$, um so eher neutralisiren sie die Myopie, um so weni-

ger wird $k''$ der Netzhaut genähert, um so geringeren Einflufs üben sie auf die Gröfse der Netzhautbilder aus.

XLIV. Bei geringen Graden von H, bei welchen Anstrengung des Accommodationsvermögens sie noch besiegt, ist S nicht selten vollkommen. Inzwischen sind die Netzhautbilder kleiner als im emmetropischen Auge, weil $k''$ der Netzhaut näher liegt; die Nethaut hat aber auch eine kleinere Oberfläche, und wenn trotzdem die Anzahl der percipirenden Elemente gleich grofs ist, so müssen sie näher an einander liegen. Es verdient näher untersucht zu werden, ob diefs namentich in der fovea centralis, bei Hypermetropen wirklich der Fall sey.

XLV. Bei höheren Graden von H ist S nicht selten, bei den höchsten fast stets unvollkommen. Verschiedene Ursachen wirken hier zusammen: *a*) die Netzhautbilder sind kleiner; *b*) oft ist eine abnormale Asymmetrie der brechenden Flächen vorhanden; *c*) in den höchsten Graden von H ist das ganze Auge unvollkommen entwickelt, sowie auch der Sehnerv.

XLVI. Wenn bei H, durch biconvexe vor dem Auge befindliche Gläser und nicht durch übermäfsige Anstrengung der Accommodation, scharfe Bilder auf der Netzhaut erhalten werden, so sind sie, weil $k''$ dabei mehr nach vorne gelegen ist, fast gleich grofs, wenn nicht gröfser als im emmetropischen Auge. Folglich wird S gröfser. Bei mäfsigen Graden wird nun S mitunter $> 1$; in anderen Fällen $= 1$. Bei hohen Graden bleibt inzwischen S oft $< 1$, wobei dann meistens die in XLV sub *b* und *c* genannten Ursachen mitwirken.

XLVII. Bei jungen Individuen, deren cataracta congenita mit günstigem Resultate operirt worden, und bei welchen nun $H = \frac{1}{2,5}$ bis $\frac{1}{3}$ ist, ist S oft $> 1$, wenn H durch ein convexes Glas corrigirt ist. Die Ursache hierfür ist in dem gröfseren Netzhautbilde gelegen: während die Linse hinter der Hornhaut durch eine Linse vor derselben ersetzt wurde, kam $k''$ mehr nach vorn.

XLVIII. Zur Correction der H darf die Brennweite des Glases um so viele Zoll gröfser seyn als man es mehr von dem Auge entfernt. Hierbei nun nehmen die Netzhautbilder stets an Gröfse zu; man kann die Wirkung mit einem Galiläischen Fernrohre vergleichen, indem das entfernte convexe Glas dem Objectiv entspricht, während das negative Ocular zum hypermetropischen Auge gehörend gedacht werden kann. Die Vergröfserung ist, wie die Berechnung lehrt, bedeutend. Bei $H = \frac{1}{2,5}$ giebt ein Glas von $\frac{1}{3}$, in $\frac{1}{2}''$ Entfernung vor dem Auge gehalten, eine lineare Vergröfserung (in Bezug auf das emmetropische Auge vor der Operation) von 1,322 Malen, ein Glas von $\frac{1}{16}$, 3",5 von dem Auge entfernt gehalten, eine Vergröfserung von mehr als 7 Malen.

Bei hohen Graden von H, auch ohne Aphakie, kann man ebenfalls ein relativ schwach convexes Glas als Galiläisches Fernrohr benutzen; für die Praxis bietet diefs keine Schwierigkeit dar.

XLIX. Gläser, welche vergröfsern oder verkleinern, modificiren den Zusammenhang zwischen der Gröfse des Netzhautbildes und der nöthigen Bewegung des Kopfes, um einen Gegenstand (bei stillstehendem Auge) mit der Gesichtslinie zu übersehen; darum scheint uns ein vergröfsert gesehener Gegenstand bei Bewegung des Kopfes entgegenzutreten, ein verkleinerter dagegen sich von uns zu entfernen. Bei den Augenbewegungen ist diefs nicht der Fall, weil der gestörte Zusammenhang nahezu durch die unrichtige Richtung, in der wir einen Gegenstand schief durch das Glas sehen, compensirt wird.

Gewöhnlich wird die veränderte Richtung beim Sehen theilweise durch Bewegung des Kopfes, theilweise durch Augendrehung erhalten. Und auch dann tritt schon, wiewohl in geringerem Grade, die scheinbare Bewegung der Gegenstände beim Gebrauche von vergröfsernden und verkleinernden Gläsern auf.

L. Vergröfsernde Gläser bewirken, dafs die Dimen-

sionen in einer auf der Sehaxe verticalen Ebene *mit einem Auge* gröfser, — Tiefendimensionen (Entfernungsunterschiede) dagegen kleiner nach aufsen projicirt werden; verkleinernde Gläser wirken umgekehrt. Die Erklärung dafür ist hauptsächlich folgende: *gleichförmige* Gegenstände oder Flächen, an welchen wir einige Winkel fast stets als gerade zu betrachten berechtigt sind, geben in gleiche Entfernung und unter gleiche Neigung gestellt, bei Gröfsenunterschied *ungleichförmige* perspectivische Netzhautbilder; daher verursachen gleichförmige perspectivische Netzhautbilder bei Gröfsenunterschied, dafs wir sie als ungleichförmige Gegenstände nach aufsen projiciren. Gläser verändern nur die Gröfse, nicht die Form der Netzhautbilder. Mithin veranlassen sie, dafs andere Formen nach aufsen projicirt werden, und zwar solche, welche die in ihrer Gröfse modificirten Netzhautbilder verursacht haben würden; eine einfache Construction lehrt, dafs diese um so weniger tief sind, je gröfser das Netzhautbild wird und umgekehrt.

LI. Auch die *stereoskopische Parallaxe für zwei Augen* nimmt durch vergröfsernde Gläser ab, durch verkleinernde zu. Die Erklärung hierfür ist darin zu suchen, dafs der Winkel, unter dem sich eine vertical auf der Sehaxe gelegene Dimension von einem einigermafsen entfernten Gegenstande zeigt, umgekehrt proportional ist *der Entfernung*, der parallactische Winkel für zwei Augen dagegen ungefähr dem *Quadrate der Entfernungen*.

LII. Bei hohen Graden von Myopie ist die Netzhaut ausgedehnt. Das Netzhautbild wird daher kleiner projicirt als vor der Ausdehnung. Bei der unverhältnifsmäfsig grofsen Ausdehnung an dem hinteren Pole wird der direct gesehene Gegenstand kleiner projicirt als vor der Ausdehnung, kleiner als bei Emmetropie (S. XLII). Trotzdem aber wird die Gröfse eines fixirten Punktes richtig geschätzt, und seine Gränzen werden richtig mit dem Finger angegeben. Wenn die Gesichtslinie abwechselnd auf die diametral einander gegenüberstehenden Gränzen des Gegenstandes gerichtet wird, so hat der veränderte Zusammen-

hang zwischen der Menge der erforderten Muskelcontractionen und der projicirten Gröfse des Gegenstandes keine scheinbare Bewegung des Gegenstandes zur Folge.

Mithin wird ein Punkt der Netzhaut durch langsam vorschreitende Ortsveränderung, in Folge der Ausdehnung, in einer Richtung nach aufsen projicirt, die von der ursprünglichen abweicht. Wenn nun die Projectionsrichtung für ein und dasselbe percipirende Netzhautelement Veränderung erleiden kann, und der Zusammenhang mit anderen Wahrnehmungsmitteln bei der Ortsveränderung erhalten bleibt, so darf man annehmen, dafs diese Richtung auch nicht primär ist, sondern in Verbindung mit anderen Hülfsmitteln der Wahrnehmung zu Stande kam.

LIII. Ebenso kann die Projection des ganzen Sehfeldes, gleichmäfsig in allen seinen Punkten, bei abnormalen Zuständen modificirt werden. Bei einem gewissen Gleichgewichte der Muskeln des Auges liegt der direct gesehene Gegenstand gerade vor dem Auge. Wenn die Augenstellung eine andere wird, während wir glauben, dafs dasselbe Gleichgewicht noch vorhanden ist, z. B. bei Paralyse oder nach Durchschneidung des in- oder auswendigen geraden Muskels, usw., so projiciren wir das direct Gesehene noch gerade vor uns, wiewohl es seitwärts liegt; das Sehfeld wird dann unrichtig projicirt. Mit Bezug auf das andere Auge entstehen dadurch Doppelbilder, — gleichseitige, wenn das Auge nach der inneren, gekreuzte, wenn es nach der äufseren abgewichen ist. Wenn aber das abgewichene Auge fortwährend abwechselnd benutzt wird, was namentlich bei der Stellung desselben nach aufsen geschieht, so lernt es sich orientiren, unterscheidet seine Eindrücke gut von denen des anderen Auges, projicirt sehr richtig und dadurch wird endlich die Lage von zwei Gegenständen, deren Bild in der fovea centralis der macula lutea des einen oder des anderen Auges sich befindet, sehr verschieden angegeben. Die beiden gelben Flecke werden mithin nicht mehr nach denselben Punkten im Raume projicirt. Ebenso werden bei dieser Abweichung, mögen nun schwache pris-

matische Gläser angewendet werden oder nicht, gleichseitige Doppelbilder eines Gegenstandes angegeben, deren Netzhautbilder an beiden Augen auf der äufseren Seite der fovea centralis liegen. Das Umgekehrte kann nach langwieriger oder angeborner Abweichung des einen Auges nach innen statt finden.

LIV. Hierin ist der Beweis gelegen, dafs jedes Auge bei abnormaler Stellung der Sehaxe, selbstständig lernen kann, sein Sehfeld nach aufsen in der gehörigen Richtung zu projiciren, und dafs die übliche Projection der beiden Sehfelder auf einander, erlernt seyn kann, als Folge des Suchens nach übereinstimmenden Netzhautbildern für die beiden am schärfsten percipirenden gelben Flecke: demzufolge erhielten auch andere Netzhautpunkte, durch Projection ihrer Eindrücke so gut wie auf- oder nahe bei einander, die Bedeutung von ziemlich scharf correspondirenden, welche sie auch wieder verlieren können, da sie nicht von vornherein anatomisch begründet ist.

### 4. Richtungslinie, Drehpunkt und Bewegungen des Auges bei Emmetropie und Ametropie.

LV. Die lange Axe (Fig 6 Taf. IV *ga*) des Hornhaut-Ellipsoïds schneidet fast vollkommen die Mitte der Hornhaut (Helmholtz, Knapp). Dasselbe gilt für ametropische Augen (*ga* Fig. 7 für ein myopisches, *ga* Fig. 8 für ein hypermetropisches Auge).

Die Gesichtslinie *ll'* ist die Richtungslinie, welche, den Knotenpunkt schneidend, den fixirten Punkt des Gegenstandes mit seinem Netzhautbilde verbindet, das, wie mich die Untersuchung mittelst des Augenspiegels direct lehrte, in der fovea centralis des gelben Fleckes gelegen ist.

Die Gesichtslinie schneidet die Hornhaut an der inneren Seite der Mitte und meistens etwas oberhalb derselben (Senff, Helmholtz, Knapp). Wenn die Brechungsflächen centrirt sind, wie es fast stets ungefähr der Fall ist, so ist die Hornhautaxe zugleich Gesichtsaxe; sie wird

in *k* durch die Gesichtslinie unter dem Winkel *lkg* geschnitten. Diesen Winkel nennen wir *α*.

LVI. Der Winkel *α* ist verschieden in dem emmetropischen und dem ametropischen Auge. Wir (Donders und Doyer) fanden in funfzehn emmetropischen Augen als Maximum 7°, als Minimum 3°,5, im Mittel 5°,082; in zwölf hypermetropischen Augen als Maximum 9°, als Minimum 6°, im Mittel 7°,55; in zehn myopischen als Maximum 5°,25, als Minimum — 1°,5 (das ist 1°,5 an der *äufseren* Seite der Hornhautaxe wie in Fig. 7 Taf. IV), im Mittel 2°.

LVII. Der verschiedene Werth des Winkels *α* hat zur Folge dafs die Hornhautaxen, bei parallelen Gesichtslinien, bei Hypermetropen mehr divergiren als bei Emmetropen, bei Myopen dagegen weniger divergiren oder sogar convergiren. Die Myopen zeigen darum bei richtig gestellten Gesichtslinien scheinbaren strabismus convergens, die Hypermetropen dagegen scheinbaren strabismus divergens.

LVIII. Bei Myopen ist die Ursache der verschiedenen Werthe des Winkels *α* in der Ausdehnung sämmtlicher Membranen zu suchen, *am meisten* an der äufseren hinteren Seite des Auges, so dafs der gelbe Fleck nach innen verschoben wird. Bei Hypermetropen hängt der gröfsere Werth des Winkels theils von der kürzeren Entfernung von *k'* von der Netzhaut ab, theils von angeborner Lage des gelben Fleckes mehr nach aufsen.

LIX. Der Winkel *α* wird gefunden durch Bestimmung des *Winkels* zwischen der Gesichtslinie und der Axe des Ophthalmometers, *der entsteht*, wenn eine in diese Axe gestellte Flamme gerade in der Mitte der Hornhaut reflectirt gesehen werden soll; das Reflexionsbild wird in der Mitte gesehen, wenn jedes seiner Doppelbilder gleichzeitig den Rand des entgegengesetzten Doppelbildes der Hornhaut erreicht.

LX. Bei dieser Lage der Doppelbilder, giebt der abzulesende Winkel der Ophthalmometerplatten zu gleicher Zeit die halbe Breite der Hornhaut, oder lieber ihre Sehne

an. Die Lage des Drehpunktes hinter dieser Sehne wird nun gefunden, wenn man bestimmt, wie grofs die nach beiden Seiten gleichen Drehungswinkel seyn müssen, um abwechselnd die Endpunkte der genannten Sehne mit demselben Punkte im Raume zusammenfallen zu lassen. Der wahrscheinliche Fehler betrug bei dieser Bestimmung weniger als 1°.

LXI. Zu der Entfernung von der Hornhautbasis und dem Drehpunkte wurde 2,6mm, als Höhe des Hornhautsegmentes, hinzugezählt. So wurde die sub *b* vorhandene Reihe in der folgenden Tabelle gefunden; *a* wurde aus der Ametropie berechnet, unter der Annahme, dafs die cardinalen Punkte des schematischen Auges übereinstimmen.

| | a. Länge der Hornhaut. | b. Hinter der Hornhaut. | | c. vor der hinteren Fläche der Sclerotica. | d. Procentisches Verhältnifs. | e. Hinter der Mitte der Sehaxe. | f. Winkel α zwischen Hornhautaxe und Gesichtswinkel. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | mm | | mm | | mm | |
| E. | 23,53 | 13,54 | : | 9,99 | = 57,32 : 42,48 | 1,77 | 5°,082 |
| M. | 25,55 | 14,52 | : | 11,03 | = 56,83 : 43,17 | 1,75 | 2° |
| H. | 22,10 | 13,22 | : | 8,88 | = 59,8 : 40,2 | 2,17 | 7°,55 |

(Überschrift der Spalten b–d: Lage des Drehpunktes)

LXII. Die Tabelle lehrt, dafs der Drehpunkt ziemlich weit hinter der Mitte der Sehaxe gelegen ist, mit der er zusammenfallen sollte.

Für das hypermetropische Auge ist diefs namentlich sehr auffallend; vielleicht aber ist die Linse in dem Auge weniger convex als in dem emmetropischen, in welchem Falle die berechnete Sehaxe (Reihe *a*) zu klein seyn würde und der Drehpunkt mithin relativ mehr nach vorne liegen müfste.

LXIII. Die gefundene Lage des Drehpunktes ist vortheilhaft für die Bewegungen. Je näher nämlich der Drehpunkt dem hinteren Ende der Sehaxe liegt, um so weniger werden die Bewegungen durch den Gesichtsnerven beschränkt. Der gröfsere Bulbus im Allgemeinen ist Haupt-

ursache der beschränkten Bewegung des sehr myopischen Auges; die Entfernung wenigstens des Drehpunktes von dem seitlich verschobenen Gesichtsnerven hat relativ nicht viel zugenommen.

5. **Modification der Sehschärfe und der Accommodationsbreite je nach dem Alter.**

LXIV. Figur 9 Taf. IV wurde aus den von Dr. Vroesom de Haan *über den Einflufs des Alters auf die Sehschärfe* gemachten Untersuchungen hergeleitet. Diese erschienen Utrecht 1861, und wurden an 281 Individuen ausgeführt, mit 1 oder 2 normalen Augen, ohne Trübung der Medien, ohne störenden Astigmatismus, ohne $M > \frac{1}{30}$ und ohne manifeste $H > \frac{1}{60}$, mit Ausnahme von hohem Alter, in dem $H = \frac{1}{30}$ noch angenommen wurde. Bei der Bestimmung wurde die Ametropie corrigirt.

LXV. In der Fig. 9 stellt die Abscisse das Alter vor, die Ordinaten dagegen die entsprechende S, ausgedrückt durch die Fufsmenge *d*, welche der Entfernung entsprach, in welcher $D = XX$ erkannt wurde. De Haan verlangte nur das Erkennen von U, A, C, L. Aber so fand er S zu grofs. Die Untersuchung lehrte, dafs demzufolge eine Reduction von $\frac{1}{6}$ geschehen mufste, welche bei der Verfertigung der Figur berücksichtigt ist.

LXVI. Die Figur 9 lehrt, dafs S im emmetropischen Auge bis ins 27ste Lebensalter fast unverändert bleibt, um von nun an langsam abzunehmen, und in hohem Alter bis auf $S = 0,5$ zu fallen.

LXVII. Es geht weiter aus derselben hervor, dafs bis auf das Alter von 42 Jahren S im Mittel $> 1$ gefunden wurde. Es kommen aber viele individuellen Unterschiede vor. Wenn $S = 1$, so kann man noch keine Anomalie voraussetzen; diefs ist die Bedeutung von dem, was Snellen als $S = 1$ annahm. Als Maximum fand de Haan $S = 1,7$.

LXVIII. Die Versuche sind bei genügender Tagesbeleuchtung gemacht worden. Eine jedesmalige Bestimmung

seiner eigenen Sehschärfe ergab dem Dr. de Haan, daſs die Beleuchtungsunterschiede sowie die täglichen Schwankungen, von dem Individuum selbst abhängig, Abwechslungen von S = 22,5 : 20 bis auf S = 19,5 : 20 bedingten. Sie sind aber ziemlich gleichmäſsig über die verschiedenen Jahre vertheilt, so daſs eine Reduction der Beobachtungen auf gleiche Lichtschärfe fast keine Veränderung der Curve verursachte.

LXIX. Die Ursache der mit zunehmendem Alter abnehmenden Sehschärfe liegt sowohl in den Augenmedien als in dem Sehnerven.

LXX. Die auffallend vollkommnere Klarheit, in welcher man den fundus oculi bei jugendlichen Individuen erblickt, beweist, daſs die Durchsichtigkeit und Homogenität der Augenmedien in höherem Alter abnimmt; die Linse reflectirt mehr Licht, ihre Farbe wird gelber, die Trennung ihrer Sectoren wird bei der Focal-Beleuchtung deutlicher, der unregelmäſsige Astigmatismus nimmt zu, die Polyopia monocularis bei unvollkommener Accommodation (trotz der stets kleiner werdenden Pupille) wird intensiver und unregelmäſsiger, der Glaskörper trüber, reicher an Membranen, Körperchen und Filamenten, welche, wie mich die mikroskopische und entoptische Untersuchung lehrte, den mouches volantes zu Grunde liegen; am wenigsten Veränderung erleidet die Hornhaut, wenigstens auf ihrer Mitte.

LXXI. Von den Veränderungen des Sehnerven verdient hier zuerst Erwähnung die stellenweise Entstehung von knötchenartiger Verdickung der Glashaut der chorioidea, welche Knötchen sich als Erhabenheiten bis in die Netzhaut fortsetzen, und ihre äuſsere (die percipirende) Schicht hier und da verdrängen und zerstören.

LXXII. Die Sehschärfe nimmt bei hohen Graden von Myopie viel geschwinder ab als bei E mit wachsendem Alter. Bei $M = \frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ ist S im 60sten Jahre meistens $< \frac{1}{3}$.

LXXIII. Zunehmende Atrophie der Membranen, durch Ausdehnung derselben, meistens begleitet von chronischer

Entzündung und geringerer Reinheit des Glaskörpers ist als Ursache davon anzugeben. Diese Zustände sind mit dem Augenspiegel zu beobachten.

**LXXIV.** Im Allgemeinen steht die Atrophie im Verhältnifs zu dem Grade von M; bei gleichen Graden von M ist sie aber um so bedeutender, je älter das Individuum.

**LXXV.** Bei H nimmt S mit zunehmendem Alter beinahe in demselben Grade ab als bei E.

**LXXVI.** Die Accommodationsbreite 1 : A nimmt schon frühzeitig (vom zehnten Jahre an, oder noch früher) etwas ab, und fällt ziemlich regelmäfsig, so dafs sie im 60sten oder 70sten Jahre fast $= 0$ wird. Im emmetropischen Auge ist dabei ein geringer Grad von H entstanden. Fig. 10 Taf. IV giebt die Details dafür näher an: $pp'$ ist die Linie der Nahepunkte, $rr'$ die der Fernpunkte, als Function des Alters (von 10 bis 80 Jahren). Nach dem 65sten Jahre sind die Bestimmungen von $p$ weniger genau, wegen der Abnahme von S und der kleinen Zerstreuungskreise bei enger Pupille.

**LXXVII.** Die Ursache der frühzeitigen Abnahme von $\frac{1}{A}$, während doch der Muskelapparat der Accommodation gewifs noch ungeschwächt ist, liegt in der schon frühe zunehmenden Festigkeit der Linse, wobei ihre Fähigkeit der Formveränderung abnimmt. In höherem Alter kommt Atrophie des Muskelapparates hinzu.

**LXXVIII.** Das Abnehmen von $\frac{1}{A}$ bei E verursacht Presbyopie Pr. Die Gränze, worauf Pr anfängt, ist eine conventionelle. Sehr feine Arbeit kann Abends nicht mehr verrichtet werden, wenn $P_2 > 8''$. Darum habe ich vorgeschlagen Pr mit $P_2 = 8''$ anfangen zu lassen. Diefs fällt fast ohne Ausnahme bei E in das 40ste oder 42ste Jahr. Den Grad von Pr finden wir als $Pr = \frac{1}{8} - \frac{1}{P_2}$.

**LXXIX.** Wenn Pr bevorsteht, so bekommen die Linien $p_1\, p_2\, p$ und $r\, r_1\, r_2$ in Fällen von E immermehr die H ursprünglich zugehörige Form. Fig. 11 Taf. IV, welche die

Accommodation eines 43jährigen Individuums vorstellt, liefert hierfür den Beleg (vergl. damit Fig. 4 bei XXXVI).

LXXX. Bei M hält die Abnahme von $\frac{1}{A}$ fast gleichen Schritt mit der bei E. Nur bei sehr hohen Graden nimmt $\frac{1}{A}$ geschwinder ab. Uebrigens wird der Verlauf von P durch die Veränderung von R und somit von M modificirt.

M nun ist in den Entwickelungsjahren fast ausnahmsweise progressiv, und zwar meistens um so mehr, je höher der Grad von M. Hohe Grade bleiben lang, die höchsten fortwährend progressiv.

LXXXI. Aus zahlreichen Beobachtungen, die sich über viele Jahre ausdehnen, sowie aus Combinationen, die aus noch vorhandenen, in viel früheren Jahren neutralisirenden Brillen, hergeleitet waren, habe ich folgende Schemata entworfen, welche den Verlauf bei einem leichten, fast stationären Grade von M vorstellen (Fig. 1 Taf. V) bei einem hohen, zeitlich progressiven Grade (Fig. 2 Taf. V), bei einem sehr hohen, bleibend progressiven (Fig. 3 Taf. V).

LXXXII. Man ersieht daraus, dafs die Annahme, als ob M bei zunehmendem Alter abnähme, auf einem Irrthume beruht. Die Ursache dieses Irrthums ist eine zweifache: erstens ist es wirklich richtig, dafs $p$ sich von dem Auge entfernt, und man betrachtete diefs als eine Abnahme von M, die nur dann vorhanden wäre, wenn $r$ sich mehr von dem Auge entfernte; zweitens wird die Pupille kleiner, und dadurch kann oft in höherem Alter, trotz der einigermafsen verschlimmerten M, besser in die Ferne gesehen werden, weil die Zerstreuungskreise kleiner geworden sind.

LXXXIII. Geringe Grade von M schliefsen die Pr nicht aus; sobald P > 8″, ist sie vorhanden. Bei M $= \frac{1}{24}$, mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{24}$, liegt $p$ in einer Entfernung von 12″, so dafs Pr $= \frac{1}{8} - \frac{1}{12} = \frac{1}{24}$ ist.

LXXXIV. Das in Fig. 4 Taf. V enthaltene Schema giebt ungefähr den Verlauf der Accommodation, als Function

des Alters, bei H. Die punktirte Linie $r, r'$, giebt den Verlauf der totalen H, die Linie $r_m\ r'_m$ dagegen den der manifesten H. Es geht daraus hervor, dafs H anfangs ganz latent, nach und nach mehr manifest, und endlich bei zunehmender H ganz manifest wird.

LXXXV. Viele Beobachtungen sprechen für die Wahrscheinlichkeit, dafs Augen, welche etwa im erwachsenen Alter emmetropisch werden, in jüngerem Alter einen geringen Grad von latenter Hypermetropie hatten. Diefs schliefst sich an die Beobachtung an, nach welcher M während der Entwicklungsjahre zunimmt.

LXXXVI. Bei H entstehen früher Schwierigkeiten beim Sehen in der Nähe als bei E. Diefs ist aber keine Pr, sondern *Asthenopie*. Die Complication von Pr mit dieser ist vorhanden, wenn P, bei Neutralisation von H durch ein convexes Glas, $> 8''$ geworden ist.

LXXXVII. Die Abnahme der Accommodationsbreite bei zunehmendem Alter geschieht auf höchst regelmäfsige Weise. Es kommen hier keine günstigen Ausnahmen vor. $\frac{1}{A}$ kann durch Krankheiten zu rasch abnehmen; ein aufserordentlich langes Fortdauern derselben habe ich aber (an mehreren tausend Fällen) nie gesehen. Wer in seinem 48sten Jahre unter den bekannten Verhältnissen keine Brille nöthig hat, ist, ohne dafs er es vermuthet, mehr oder weniger myopisch (sieht man mit schwachen concaven Gläsern besser in die Ferne); aufserordentliche S kann bewirken, dafs diefs erst einige Jahre später nöthig wird. Wer dagegen mit $S = 1$ vor dem 45sten Jahre beim Lesen, Schreiben usw. eine Brille braucht, ist fast ausnahmslos mehr oder weniger hypermetropisch (sieht auch in die Ferne mit einer schwach convexen Brille).

### 6. Folgen von M und H.

LXXXVIII. Die Folgen von M in hohem Grade sind:

*a*. Abnahme von S, welche Abnahme mit den Jahren sehr zunimmt (LXXII, LXXIII, LXXIV).

*b.* Beschränkte Bewegung des Augapfels, mit absoluter oder relativer Insufficienz (ungenügende Wirkungskraft) der inneren geraden Augenmuskeln.

*c.* Divergirendes Schielen.

LXXXIX. Bei gut beweglichen emmetropischen Augen können die Gesichtslinien in weniger als 2″ Entfernung von dem Auge unter einem Winkel von 60° oder 70° vor der Mitte der Stirnfläche sich schneiden. Wenn der Punkt *c*, in dem sie sich schneiden, weiter als $2\frac{1}{2}$″ von dem Drehpunkte entfernt ist, entsprechend einem Convergenzwinkel von ungefähr 51°, so kann im Allgemeinen Insufficienz der inneren geraden Augenmuskeln angenommen werden.

XC. Sobald $r_2$ dem Auge näher liegt als *c*, ist bei M, auch wenn die Bewegung nicht beschränkt ist, relative Insufficienz anzunehmen. Diefs findet um so leichter statt, weil die Lage der Gesichtslinien, im Verhältnisse zur Hornhautaxe, eine stärkere Convergenz der Hornhautaxen nöthig macht, um die Gesichtslinien in einer gegebenen Entfernung convergiren zu lassen. Meistens ist aber die Bewegung nach innen bei hohen Graden von M auch absolut beschränkt.

XCI. Sowohl M als H stehen mit Schielen in causalem Zusammenhange. Schielen ist vorhanden, wenn das binoculare Sehen wegen Abweichung der Gesichtslinien aufgehoben ist: die Gesichtslinien schneiden einander dann nicht in dem Punkte, den man genauer betrachtet, so dafs das Bild dieses Punktes nur auf einer der Netzhäute in der fovea centralis des gelben Fleckes vorkommt; die andere fovea centralis erhält das Bild eines anderen Punktes.

XCII. M hängt mit *divergirendem* Schielen zusammen. Bei hohem Grade von M ist *relativ* divergirendes Schielen die Norm; indem nämlich die Gesichtslinien für das Sehen in die Ferne richtig gestellt, d. h. parallel sind, so reicht das Maximum der Convergenz für das Sehen in die Nähe nicht hin.

XCIII. Bei *relativ divergirendem Schielen* nimmt die Convergenz regelm[illegible] irgend ein fixirter Ge-

genstand dem Auge genähert wird, und wird schliefslich fast ihr Maximum erreichen. Wenn der Gegenstand in dieser Distanz einige Zeit verbleibt, so weicht das eine Auge bald nach aufsen ab; diefs findet allsogleich statt, wenn es mit der Hand bedeckt wird. Wenn man nun auch die Hand wieder wegnimmt, so bleibt die Abweichung trotzdem meistens fortbestehen; die bedeutende Convergenz entstand nur bei dem Bemühen das binoculare Sehen *auszuhalten*.

XCIV. Die Ursache des relativ divergirenden Schielens ist ganz allein in der erschwerten Convergenz zu suchen; das Streben der beiden Netzhäute nach Zusammenwirkung, welches bei absolutem Strabismus aufgehoben ist, kann hier ungestört fortbestehen.

XCV. Auch die Bewegung nach aufsen kann durch die höchsten Grade von M beschränkt seyn: beim Sehen in die Nähe ist dann *relativ divergirendes*, bei dem in die Ferne *relativ convergirendes* Schielen vorhanden, während das binoculare Sehen für mittlere Entfernungen einen beschränkten Spielraum hat.

XCVI. Das divergirende Schielen ist *absolut*, wenn das binoculare Sehen für jede Entfernung ganz aufgehört hat. Unter 100 Fällen von divergirendem Schielen kam 70 Mal M in ziemlich hohem Grade an einem oder beiden Augen vor. Die Statistik lehrt mithin einen Zusammenhang dieser Verhältnisse kennen. Aus dem der M eigenen relativ divergirenden Schielen erhellt, dafs dieser Zusammenhang ein causaler ist.

XCVII. Wenn die Muskeln sich selbst überlassen sind, so entwickelt sich in der Regel ein Schielen. Eine richtige Stellung der Gesichtslinien wird nur erhalten durch das Streben, um mit beiden Augen dieselben Gegenstände direct zu sehen, d. i. um mit beiden gelben Flecken die Bilder desselben Gegenstandes aufzunehmen. Wenn ein Auge blind ist, so weicht es meistens *nach aufsen* ab.

XCVIII. Relativ divergirendes Schielen verursacht, dafs ungleiche Bilder auf den beiden gelben Flecken beim Se-

hen *in die Nähe* entstehen: hierdurch nimmt das Bedürfnifs an Gleichheit im Allgemeinen ab. Eine anfangende Abweichung, bei der erforderten Convergenz entstanden, erreicht alsbald einen hohen Grad; die Anstrengung, um zu convergiren, unterbleibt um so eher, weil sie Anstrengung der Accommodation mit sich führt und *r* somit dem Auge näher bringt: Mangel an Thätigkeit und verminderte Energie des inneren geraden Muskels gehen daraus hervor. Geringe Abscheu vor Doppelbildern und geringe Kraft der inneren geraden Muskeln fallen somit zusammen. Wenn die Wirkung dieser Muskeln nun auch beim Sehen in die Ferne nicht mehr hinreicht, so ist absolut divergirendes Schielen entstanden. Es entwickelt sich um so leichter: *a*) weil Mangel an S für die Ferne, die Doppelbilder weniger störend macht; *b*) weil Anstrengung der Accommodation eintritt, und S dadurch für die Ferne geringer wird, sobald der Parallelismus der Gesichtslinien Anstrengung der inneren geraden Augenmuskeln erfordert; *c*) weil das Verhältnifs von Gesichtslinie und Gesichtsaxe bei Myopen ungünstig ist (LVI) zur Erhaltung des Parallelismus der Gesichtlinien.

XCIX. Hiermit ist die Entstehung der meisten Fälle von divergirendem Schielen erörtert. Die Fälle, die unabhängig von M entstanden sind, sind zum gröfsten Theile durch Lähmung oder durch Blindheit des einen Auges bedingt (vergl. XCVI). Verwundung, Krämpfe, zusammengesetzte angeborne Anomalien sind relativ seltnere Ursachen.

C. E des einen und M des anderen Auges, mehr aber noch M in geringerem Grade des anderen Auges, sind in der Regel von divergirendem Schielen begleitet. Im Allgemeinen mufs diefs so erklärt werden, dafs einestheils das binoculare Sehen beim Unterschied in der Schärfe und Gröfse der Bilder seinen Werth gröfstentheils einbüfst, anderntheils dafs zu der mechanisch schon erschwerten Convergenz Accommodationsanstrengung hinzutritt und somit die Sehschärfe des in geringem Grade myopischen Auges für das Sehen in die Ferne abnimmt.

*Bei* dieser Form des Schielens haben Manche das Be-

wufstseyn der bestehenden Abweichung und können diese für einige Zeit willkürlich aufheben.

CI. Die Folgen von H sind Asthenopie und Strabismus convergens. Asthenopie kommt häufig vor, Strabismus convergens relativ selten.

CII. Asthenopie verräth sich durch baldige Ermüdung beim Sehen in die Nähe. Das Auge bietet nichts Krankhaftes dar, ist nicht schmerzhaft, auch nicht wenn es angestrengt wird; S ist normal, ebenso die Bewegungen; das Sehen in die Ferne wird für vollkommen gehalten; Lesen aber, Schreiben usw. verursachen ein Gefühl von Spannung über den Augen, die Gegenstände werden undeutlich, man reibt sich die Stirne, schliefst die Augen, fängt die Arbeit von neuem an, mufs aber jetzt die Arbeit noch eher aufgeben. Ruhe heilt die Ermüdung der Augen, welche jetzt wieder um so längere Zeit sich anstrengen können, je länger die Ruhe gedauert hat.

CIII. Asthenopie wurde mit den verschiedenartigsten Anomalien verwechselt, und ihr Sitz hauptsächlich in der Netzhaut gesucht. Manche glaubten ihn in den Accommodationsorganen suchen zu müssen, und betrachteten äufsere Zustände und Anstrengung der Augen als Ursachen. Wir haben dargethan, das Asthenopie nicht Accommodations-, sondern *Refractions*-Anomalie ist, nämlich ein gewisser Grad von H. Anstrengung ist mithin nicht die Ursache; sondern die erforderliche grofse Anstrengung macht Beschwerden und dadurch kommt die ursprünglich vorhandene Anomalie zu Tage.

CIV. Die Entstehung von Asthenopie aus H ist leicht zu begreifen. Das Sehen in die Ferne erfordert hier schon Anstrengung der Accommodation zur Ueberwindung der H. Die Accommodation, welche auf diese Weise mit einem Deficit anfängt, bleibt alsbald beim Zunehmen der Convergenz in ihren Leistungen zurück. Das Auge übt sich zwar um bei geringer Convergenz relativ stark zu accommodiren (s. XXXVI und XXXVII), der positive Theil aber von $\frac{1}{A_1}$

ist bei mäfsiger Convergenz schon sehr klein im Verhältnifs zum negativen; bei einiger Ermüdung wird er gleich Null, d. h. $p_2$ entfernt sich bis auf die Distanz, in welcher die feinere Arbeit verrichtet werden mufs. Entfernt man den Gegenstand noch mehr, so hilft diefs nur für einige Augenblicke, denn, während $\frac{1}{A_1}$ auch dann fast ganz negativ bleibt, erreicht $p_2$ bei der zunehmenden Ermüdung fast unmittelbar die gröfsere Entfernung. Für $p_2$ sind nun alle, auch emmetropische Augen, asthenopisch.

CV. Je gröfser $\frac{1}{A}$, um so bedeutender kann H seyn, ohne Asthenopie zu verursachen. Da nun $\frac{1}{A}$ mit zunehmendem Alter abnimmt, so äufsert sich die Asthenopie um so später, je geringer die H ist. Zufälligerweise gilt hier ungefähr die Regel, dafs das Alter, in dem die Asthenopie erscheint, der Nenner des Bruches ist, der die bestehende H vorstellt: bei $H = \frac{1}{8}$ hat man im achten, bei $H = \frac{1}{30}$ im 30sten, bei $H = \frac{1}{n}$ im nten Jahre Asthenopie zu erwarten. Bei $H < \frac{1}{40}$ bleibt Asthenopie aus, oder lieber fällt sie mit Pr zusammen.

CVI. Die Symptome von Asthenopie und Pr sind verschieden. Presbyopie schliefst scharfes Sehen, z. B. in einer Entfernung von 8″, ganz aus; bei einer gröfseren Entfernung, z. B. von 16″, tritt selbst keine Ermüdung ein; Asthenopie erlaubt das Sehen in einer Entfernung von weniger als 8″ oft sehr wohl, das Sehen in gröfserer Distanz, z. B. 16″, ermüdet jedoch auch sehr bald.

CVII. Zur Erklärung von dem Unterschiede zwischen Asthenopie und Pr beachte man Folgendes: 1) der Verlust einer gewissen Fraction von $\frac{1}{A}$ durch Ermüdung hat bei jugendlichen Hypermetropen viel mehr Einflufs auf P und $P_2$ als bei Pr, weil auch $\frac{1}{A}$ bei dieser letztern viel geringer ist; 2) bei Pr nimmt, bei gröfserer Entfernung von $p_2$, der positive Theil von $\frac{1}{A}$ geschwinder zu als bei Asthe-

nopie; 3) die Linien $p$ $p_1$ $p_2$ und $r$ $r_1$ $r_2$ stellen die Veränderung des dioptrischen Systems, nicht die Anstrengung des Muskelsystems vor, deren jedesmalige Zunahme, *namentlich bei Pr*, um so weniger Veränderung in der Linse bedingt, je mehr sie sich ihrem Maximum nähert, woraus erfolgt, dafs der positive Theil von $\frac{1}{A}$, als Muskelwirkung ausgedrückt, namentlich bei Pr, im Verhältnifs zum negativen Theil, viel gröfser seyn würde.

CVIII. Das praktische Resultat unserer Kenntnifs von dem Wesen der Asthenopie nun ist das Aufgeben einer langwierigen peinlichen Behandlung, die mit der Erklärung der Unheilbarkeit ablief, und an Stelle dessen die Anwendung einer convexen Brille, die hinreicht, um wenigstens die manifeste Hypermetropie ganz zu neutralisiren, während man davon absteht, das Auge an immer schwächere Brillen systematisch zu gewöhnen.

CIX. Convergirendes Schielen ist in der Regel durch H bedingt. Darauf beruht ganz bestimmt die *typische Form*: welche als periodisches monoculares Schielen entsteht, meistens von dem vierten bis zu dem siebenten Jahre, mitunter auch später, ohne das irgendwie über Doppelbilder geklagt wird; es besteht anfangs meistens nur beim Fixiren von nahegelegenen Gegenständen, später auch von mehr entfernten, kann durch convexe Gläser in seiner Entwickelung gehemmt werden, so lang es *inconstant* geblieben ist, geht aber bald in die constante Form über, mit bleibender Abweichung meistens *von einem und demselben Auge* (Strabismus simplex), mit Verkürzung der inneren geraden Augenmuskeln, übermäfsiger Beweglichkeit nach innen und beschränkter nach aufsen an *beiden* Augen, mit verminderter S des abgelenkten Auges beim directen Sehen, und auch beim indirecten, insofern das Gesichtsfeld für beide Augen gemeinschaftlich geblieben ist, welche verminderte S allmählich soweit geht, dafs das abgelenkte Auge den Gegenstand nicht mehr fixirt, wenn das andere geschlossen wird, sondern sein Bild an einem nach innen gelegenen

Theile der Netzhaut aufnimmt, und es dabei besser unterscheidet als beim directen Sehen, d. h. wenn es auf den gelben Fleck fällt.

CX. Der Zusammenhang zwischen H und Strabismus convergens ist klar: bei stärkerer Convergenz kann H leichter überwunden werden, und dadurch, unter Aufopferung des binocularen Sehens, mit einem Auge schärfer und mehr anhaltend in die Nähe gesehen werden. Hierin liegt auch die Erklärung dafür, dafs die Abweichung anfangs nur beim Fixiren vorkommt, und zwar in einem Alter, in dem schärfere Beobachtung anfängt. Ueberdiefs kann es nicht auffallen, dafs, während die Aufmerksamkeit im Augenblicke der Ablenkung auf einen bestimmten Gegenstand gerichtet wird, weder sein Doppelbild, noch das Bild des Gegenstandes, das im gelben Flecke des abgelenkten Auges entsteht, störend wirken.

CXI. Trotz der natürlichen Erklärung des Strabismus convergens aus H, ist er doch keine nothwendige Folge derselben. Die Anzahl der Hypermetropen, bei denen Schielen entsteht, ist sogar relativ gering. Die Entstehung desselben wird daher natürlicherweise in der Regel durch das instinctmäfsige Festhalten am binocularen Sehen verhindert.

CXII. Zweierlei sind die Zustände, welche die Entstehung von Strabismns bei H befördern; *a)* diejenigen, welche den Werth des binocularen Sehens vermindern, *b)* die, welche die Convergenz erleichtern.

CXIII. Der Werth des binocularen Sehens wird vermindert durch Abnahme von S an einem Auge, als Folge erworbener Hornhautflecken, oder angeboren, und dann nicht selten durch Astigmatismus bedingt.

CXIV. Die Convergenz wird leichter: 1) *absolut*, wenn der Augapfel der Bewegung nach innen wenig Widerstand leistet, und die M recti interni ein angebornes Uebergewicht haben über die externi oder leichter durch den Nerven beherrscht werden; 2) *relativ*, wenn die Gesichtslinie einen besonders grofsen Winkel mit der Hornhautaxe bildet, und somit beim Sehen in die Ferne bedeutende Di-

vergenz der Hornhautaxen nöthig wird (wirklich fand ich den Winkel $\alpha$ bei Strabismus convergens noch gröfser als in gewöhnlichen Fällen von H ohne Schielen).

CXV. Bei constantem Strabismus convergens wird die Ablenkung, beim Versuche in die Nähe zu sehen, nur wenig, die Anstrengung zur Convergenz gewifs viel gröfser. Darum verursacht ein gewisser Grad von H, sobald Schielen damit verbunden ist, nicht so leicht Asthenopie. Wenn durch Tenotomie eine richtige Stellung erhalten ist, so sieht man bei Accommodations-Anstrengungen oft wiederum Strabismus convergens auftreten. Das Auge bewegt sich nun (mitunter willkührlich) nach innen, bei einer Anstrengung die, so lange das Schielen bestand, wenig Bewegung verursachte. Recidiv von Strabismus ist in diesen Fällen nur dadurch abzuhalten, dafs man convexe Gläser anwendet, welche die H neutralisiren.

CXVI. Strabismus convergens kann ausnahmsweise von Muskelverkürzung abhängen, durch Paralyse des Antagonisten bedingt, weiter von Verwundung, Krampf; oder er ist angeboren, meistens als Theil einer zusammengesetzten Anomalie; endlich kann Schielen bedingt seyn durch subconjunctivale Entzündung, welche auf den Muskel übergeht und zum Theile den Zusammenhang von Hornhautflecken und Strabismus erklärt. In allen diesen Fällen weicht das Krankheitsbild von dem oben beschriebenen ab.

---

Folgende wichtige Sätze resultiren aus dem Obigen:

*Hypermetropie verursacht accommodative Asthenopie, die durch activ erzeugten Strabismus convergens überwunden werden kann.*

*Myopie führt zu muscularer Asthenopie, welche durch passiv entstehendem Strabismus divergens umgangen wird.*

### 7. Regelmäfsiger Astigmatismus.

CXVII. Die Brennweite des dioptrischen Systems des Auges ist in seinen verschiedenen Meridianen nicht vollkommen dieselbe (regelmäfsiger Astigmatismus As). Wenn

man sich das System, mit Vernachlässigung der Distanzen $k' k''$ und $h' h''$, auf eine brechende Fläche reducirt denkt, so ist dieselbe nahezu die Spitze eines Ellipsoïds mit drei Axen. Die längste ist die Gesichtsaxe, die beiden anderen liegen in einer verticalen Ebene senkrecht auf einander. Ihre Richtung ist unbeständig, meistens weicht jedoch die eine nur wenig von der horizontalen, die andere nur wenig von der verticalen Richtung ab, und in vier Fünftheilen der Fälle ist letztere die kürzere.

Die Meridiane, welche in der Gesichtsaxe und einer der kleineren Axen gelegen sind, sind die Hauptmeridiane, der eine mit Krümmungsmaximum $m$, der andere mit Krümmungsminimum $m'$.

CXVIII. Der *unregelmäfsige* Astigmatismus kann auf zwei Ursachen reducirt werden: *a*) die Krümmungen der Meridiane sind untereinander verschieden, ohne dafs sie einem Ellipsoïd mit drei Axen hinreichend entsprechen; *b*) monochromatische homocentrische in einem und demselben Meridiane gebrochene Strahlen bleiben nicht homocentrisch.

CXIX. Der unregelmäfsige Astigmatismus hängt fast nur von der in jeder Hinsicht unregelmäfsigen Krystalllinse ab. Diefs kann man aus Beobachtungen am eigenen Auge herleiten. Es geht aber auch direct daraus hervor, dafs 1) die Polyopia monocularis, 2) die Strahlen, welche an Lichtpunkten sich zeigen, und 3) die radialen Lichtlinien des entoptischen Spectrums (Listing) — welche Erscheinungen von einer und derselben Ursache herrühren und sich auf unregelmäfsigen Astigmatismus beziehen, — bei Aphakie ganz verschwunden sind.

CXX. Bei *Aphakie* bleibt nur ein gewisser Grad von regelmäfsigem Astigmatismus übrig, der sich durch rein lineare Ausdehnung eines Lichtpunktes in zwei entgegengesetzte Richtungen (als Gränzen des Focalraumes von Sturm) kund giebt, während ein rundes Fleckchen ungefähr der Mitte des Focalraumes entspricht. In 9 Fällen von Aphakie mit $S = 1$ oder $S > 1$, war, wie aus der Richtung der

Gränzlinien des Focalraumes hervorging, $m$ 7 mal ungefähr vertical, einmal vollkommen horizontal. Dem entsprachen die Messungen des Radius der Hornhaut im horizontalen und verticalen Meridiane.

CXXI. Der Grad des *regelmäfsigen Astigmatismus* As wird ausgedrückt durch $\frac{1}{l'}$, wobei $l'$ die Brennweite einer cylindrischen Linse ist, welche zu $m'$ hinzugefügt, die Brennweite in $m'$ der in $m$ gleich machen würde; $l'$ wird in Pariser Zoll berechnet.

CXXII. Jedes Auge ist astigmatisch. Bei mäfsigen Graden kann diefs auf bekannte Weise dargethan werden. Bei sehr geringen, von viel unregelmäfsigem Astigmatismus begleiteten, ist diefs schon schwieriger. Die Veränderungen in S beim Herumdrehen eines schwach cylindrischen Glases ($\frac{1}{100}$ $c$ oder $\frac{1}{60}$ $c$) (Siehe CXXXV) vor dem Auge sind dann aber immer noch beweisend: bei einer gewissen Stellung des Glases erhält man die Summe, bei der entgegengesetzten den Unterschied in dem Astigmatismus von Glas und Auge.

CXXIII. As $< \frac{1}{40}$ ist normal: As $> \frac{1}{40}$ abnormal, weil S dabei im Allgemeinen abgenommen hat und der Gebrauch von cylindrischen Gläsern oft erwünscht ist. As von $\frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{5}$ sind nicht sehr selten. Ich habe sogar As von $\frac{1}{4}$ angetroffen.

CXXIV. Thomas Young fand die beschriebene Asymmetrie zuerst an seinen eigenen Augen; in sehr abnormalem Grade fand sie zuerst der Astronom Airy an seinem linken Auge; einzelne Fälle kamen noch in England vor. Whewell führte dafür den Terminus Astigmatismus ein. Auf dem Continente Europas wurde nur ein Fall bekannt, der von einem schweizerischen Geistlichen an seinem eigenen Auge beobachtet wurde. Mit Unrecht werden diese Fälle als curiosa betrachtet. Wir haben gefunden, dafs unter 30 oder 40 Augen eins von abnormalem regelmäfsigem Astigmatismus afficirt ist. Hierher gehören die meisten Fälle von angeborner verminderter S.

CXXV. Ebenso wie der normale, hat der abnormale As beinahe ausnahmlos *hauptsächlich* in der Hornhaut seinen Sitz. Diefs ging aus der Vergleichung des Grades von As mit dem Unterschiede der Krümmungsstrahlen der Hornhaut im verticalen und horizontalen Meridiane, also ungefähr in *m* und *m'*, hervor. Aber erst wenn die Krümmungsstrahlen in den *Hauptmeridianen der Hornhaut* bekannt sind, kann der positive oder der negative Antheil der Linse *richtig* berechnet werden durch Vergleichung mit dem Grade des As und mit *m* und *m'* des ganzen Systemes.

CXXVI. Neulich habe ich ein Verfahren ermittelt, um die Hauptmeridiane der Hornhaut und ihre Krümmungsstrahlen zu finden: die drei Lichter, deren Reflexionsbilder von Helmholtz, nach Bessel's Methode, für die Messungen mit dem Ophthalmometer eingeführt sind, sind in einer verticalen Ebene um einen Punkt beweglich gemacht, der in der Axe des Ophthalmometers liegt, mit welcher Axe bei der Beobachtung auch die Hornhautaxe zusammentreffen mufs. Somit können ohne Bewegung des Kopfes die Krümmungsstrahlen durch Drehung der Lichter in allen Meridianen gemessen und so die des Maximums und Minimums gefunden werden.

CXXVII. Aus solchen an 15 Augen gemachten Messungen der Hornhaut, und aus den an denselben Augen genau ermittelten Richtungen der Hauptmeridiane und der Grade von As, wurde die Asymmetrie der Krystalllinse in Richtung und Grad berechnet, und es hat sich ergeben, dafs — mit wenigen Ausnahmen — mit einer Asymmetrie der Hornhaut eine Asymmetrie der Krystalllinse zusammentrifft, dafs aber die Asymmetrie der Hornhaut gröfser, also überwiegend ist, dafs in der Hornhaut *m* sich dem verticalen, in der Krystalllinse dagegen dem horizontalen Meridian zu nähern pflegt, dafs sie aber keineswegs senkrecht auf einander stehen, und dafs die Hauptmeridiane für das ganze dioptrische System des Auges deshalb mehr oder weniger (bisweilen 30° und mehr) von den Hauptmeridianen der Hornhaut abweichen. Wahrscheinlich gelten dieselben

Verhältnisse für den normalen As. Jedenfalls kommt der abnormale As darin mit dem normalen überein, dafs *m* in der Regel dem verticalen, *m'* dem horizontalen Meridiane sich nähert. Er scheint mithin als ein höherer Grad derselben Asymmetrie betrachtet werden zu müssen, die normale Augen besitzen.

CXXVIII. Will man den Grad von As bei verminderter S bestimmen, so mufs man zuerst die Richtung der Hauptmeridiane suchen. Diefs kann auf zwei Weisen geschehen: erstens aus der Richtung der Linien, in welcher ein Lichtpunkt an der vorderen und hinteren Gränze des Focalraumes gesehen wird (nur dann, wenn viel unregelmäfsiger As mit vorkommt, wird diese Richtung unrichtig angegeben), zweitens durch Herumdrehen eines ungefähr corrigirenden Cylinderglases vor dem Auge, wobei das Minimum und namentlich das Maximum von S genau unterschieden und angegeben werden.

CXXIX. Wenn man die Richtung der Hauptmeridiane kennt, so ist der am meisten practische Weg, um nun R für dieselben zu bestimmen.

Diefs geschieht, indem man durch eine schmale Spalte hindurch erst in der Richtung des einen und darauf in der des anderen Meridianes das stärkste convexe oder das schwächste concave Glas bestimmt, womit in die Ferne scharf gesehen wird.

CXXX. Auf diese Weise wird in beiden Meridianen die Refraction, also der Grad der Ametropie, oder in einem der Meridiane E gefunden; und mit dem Unterschied in der Refration der beiden Meridiane ist auch As bekannt.

CXXXI. Wenn E oder H in einem der Meridiane vorhanden ist, so ist es zur Erhaltung eines sehr genauen Resultates wünschenswerth, die Accommodation vor der Bestimmung durch Atropie zu paralysiren. Bestimmungen von As bei Accommodation für *p* geben, wenn auch *p* für die beiden Hauptmeridiane bei gleicher Convergenz bestimmt wird, in zwei einanderfolgenden Beobachtungen in den beiden Hauptmeridianen nicht selten ungleiche Resul-

tate, wegen des Unterschiedes in der Anstrengung. Im Allgemeinen jedoch scheint dasselbe Auge ungefähr denselben Grad von As bei verschiedenen Accommodationszuständen zu behalten.

CXXXIII. Die von Stokes zur Bestimmung des Grades von Astigmatismus construirte astigmatische Linse, corrigirt den As, läfst aber die Ametropie ungehindert bestehen, und ist darum meistens wohl nicht richtig zu stellen, es sey denn, dafs im *m* und *m'* Myopie vorhanden (was selten der Fall ist), wobei sie dann für Leseproben in der Nähe brauchbar wäre. Sie lehrt auch nicht, was wir überdiefs zu wissen verlangen, den Grad der Ametropie in jedem der Hauptmeridiane kennen. In Verbindung mit sphärischen Gläsern ist die Methode von Stokes und sind auch gewöhnliche cylindrische Gläser zur Controle sehr nützlich.

CXXXIII. Auch die Methode von Airy ist nur bei Myopie mit Astigmatismus anwendbar, und giebt auch dann nur ein ziemlich gutes Resultat, wenn wenig unregelmäfsiger As mit vorhanden ist. Für Nichtmyopen modificirt, genügt die Methode noch viel weniger.

CXXXIV. As kann unterschieden werden in *myopischen* Astigmatismus Am, *hypermetropischen* Ah (der am häufigsten vorkommt) und *gemischten* Ahm oder Amh. Am ist *einfach* wenn E in *m'*, in *m* dagegen M; *zusammengesetzt* dagegen wenn M sowohl in *m'* als in *m* vorkommt, d. i. M + Am. Ebenso ist Ah *einfach*, wenn E in *m* und H in *m'*, *zusammengesetzt* wenn H in *m'* und *m* d. i. H + Hm vorhanden ist. Beim gemischten As ist H in *m'* mit M in *m* vereinigt und zwar entweder so, dafs M *überwiegt* Amh, oder H Ahm.

CXXXV. As wird (obgleich nicht mit mathematischer Genauigkeit) durch cylindrische Gläser corrigirt. S wird hierbei gröfser, mitunter um 2 bis 4 Male. Um in *m* und *m'* (und damit fast in allen Meridianen) $R = \infty$ zu erhalten, sind nöthig:

1. Einfache cylindrische Gläser:

*a*) positive, meistens biconvexe, mit parallelen Axen

der beiden Cylinder. Sie werden durch $\frac{1}{L}$ c angedeutet, wobei die Brennweite L in Pariser Zoll angegeben wird. Sie werden bei einfachem Ah angewendet.

*b*) Negative, meistens biconcave, mit parallelen Axen, $-\frac{1}{L}$ c, bei einfachem Am anwendbar.

2) Bicylindrische Gläser mit einer concaven und einer convexen Fläche, mit vertical auf einander gerichteten Axen $\frac{1}{L}$ c ⌈ $-\frac{1}{L}$ c: bei Amh und Ahm anwendbar.

3) Sphärisch cylindrische Gläser, die eine Fläche sphärisch, die andere cylindrisch, entweder convex $\frac{1}{L}$ s ⌢⌣ $\frac{1}{L}$ c, oder beide concav $-\frac{1}{L}$ s ⌢⌣ $-\frac{1}{L}$ c: bei zusammengesetztem Ah und Am, das ist, bei H + Ah und bei M + Am, machen sie $R = \infty$. Die gemeinschaftlichen M und H bei diesen zusammengesetzten Zuständen werden durch die sphärische Fläche corrigirt, das übrigbleibende Ah und Am respective durch die convexe und concave cylindrische Fläche.

Diese einfachen Formeln reichen hin zur Bestellung aller dieser Gläser bei Nachet et fils, Opticiens, Rue St. Sévérin in Paris. Man fülle nur die Werthe von L in Pariser Zoll ein

Einige Beispiele wollen wir hier folgen lassen:

Reduction von $R = \infty$ in allen Meridianen wird erhalten bei

| | | | |
|---|---|---|---|
| Am | $\frac{1}{6}$ | mit | $\frac{1}{6}$ c. |
| Ah | $\frac{1}{8}$ | » | $\frac{1}{8}$ c. |
| M | $\frac{1}{16}$ + Am $\frac{1}{20}$ | » | $-\frac{1}{16}$ s ⌢⌣ $-\frac{1}{20}$ c. |
| H | $\frac{1}{12}$ + Ah $\frac{1}{16}$ | » | $\frac{1}{12}$ s ⌢⌣ $\frac{1}{16}$ c. |
| H | $\frac{1}{18}$ ⌈ M $\frac{1}{24}$ | » | $\frac{1}{18}$ c ⌈ $-\frac{1}{24}$ c. |

Die Reduction der Gläser für den Fall, dafs man R in eine bestimmte endliche Entfernung verlegen will, geschieht nach den bekannten Regeln, meistens durch Modification der sphärischen Fläche.

CXXXVI. Die Symptome des normalen As sind:

1) Verminderte S (durch eigenthümliche Mifsbildung der Netzhautbilder), mitunter bis auf $\frac{1}{7}$.

2) Indifferenz für ziemlich verschiedene sphärische Gläser.

3) Das Zerstreuungsbild eines Lichtpunktes, der mit verschiedenen sphärischen Gläsern beobachtet wird, ist in zwei entgegengesetzten Richtungen mehr als gewöhnlich verlängert.

4) P und R sind sehr verschieden für Linien in zwei entgegengesetzten Richtungen, entsprechend $m$ und $m'$.

5) Die Beurtheilung der Dimensionen in genannten Richtungen fällt auch sehr abweichend aus, theils wegen des Unterschiedes in der Dimension der Netzhautbilder bei richtiger Accommodation (wegen des Lagenunterschiedes von $k''$ in $m$ und $m'$), theils wegen der Irradiation bei unrichtiger Accommodation.

6) S wird beim Sehen durch eine Spalte verbessert, namentlich dann, wenn ihre Richtung $m$ oder $m'$ entspricht.

7) An einem beleuchteten Vierecke können (in Folge des Mangels an Achromatismus), wenn man ein violettes Glas vor das Auge hält, zwei Ränder blau und die zwei vertical entgegengestellten roth gesehen werden.

CXXXVII. Alle diese Symptome kann man an sich selbst beobachten, sobald man ein cylindrisches Glas vor das Auge hält und dadurch ziemlich regelmäfsigen As hervorruft.

CXXXVIII. Objectiv kann man, bei hinreichender Uebung, As aus dem Bewufstseyn des Anstrengungsunterschiedes der Accommodation erkennen, beim Scharfsehen von in entgegengesetzten Richtungen verlaufenden Netzhautgefäfsen mit dem Augenspiegel im aufrechten Bilde. Ich kann auf diese Weise sogar ziemlich genau die Ametropie in zwei entgegengesetzten Meridianen und somit den Grad von As beurtheilen. Auch zeigt sich die Sehnervenfläche oval verzogen, wenn sie wie gewöhnlich rund ist (Knapp). Die Verzerrung besteht in entgegengesetzten Richtungen bei der Untersuchung im aufrechten und im

umgekehrten Bilde. Formunterschied bei der Untersuchung nach beiden Methoden beweist somit das Vorhandenseyn von As (Schweigger).

CXXXIX. As kann auch durch Krankheiten der Hornhaut erhalten werden, ist aber dann meistens mit einem hohen Grade von unregelmäfsigem As combinirt. Dasselbe ist der Fall, wenn die Linse durch partielle Luxation eine schiefe Stellung erhält. Wenn sie zum Theile aus der Pupillenebene verschwindet, so ist dadurch ein hoher Grad von unregelmäfsigem As bedingt.

---

## VI. *Ueber die Aenderungen, welche die Modification des mittleren Volums durch Aenderungen der Temperatur erleidet; von* P. Kremers.

(Fortsetzung von Bd. 114, S. 41.)

---

**Lösungen von Schwefelsäure.**

1,7740 spec. Gew. = 551,5 Atome (220,6) $SO_3$

= 1095,2 Atome (536,7) $HO, SO_3$ [1]).

82 = 31,0812 [2]).

| Temp. | *a* | *b* | Temp. | *a* | *b* |
|---|---|---|---|---|---|
| 19°,5 C. | 112,5 | 119,5 | 40 | 241,0 | 243,0 |
| 40 | 142,0 | 168,5 | 80 | 388,0 | 398,0 |
| 60 | 264,5 | 283,5 | 99,5 | 508,0 | 508,0 |

1) Die Lösungen wurden in der früher (Bd. 114, S. 58) angegebenen Weise analysirt, mit dem Unterschiede jedoch, dafs auch die in dem Filtrat enthaltene schwefelsaure Baryterde, nachdem die lösende Salzsäure durch Abdampfen entfernt worden, näher bestimmt wurde. Ihr Gewicht betrug übrigens nie mehr als 1 Milligrm. Die frühern Analysen sind also in Folge der Nichtbeachtung dieses Umstandes mit keinem merklichen Fehler behaftet.

2) Bei dieser und den folgenden Lösungen ist angegeben das Gewicht des mit der Lösung gefüllten Apparats (Bd. 105, S. 362) und die Summe

1,7506 spec. Gew. = 504,7 Atome (201,9) $SO_3$
= 924,9 Atome (453,2) HO, $SO_3$
65 = 30,7981.

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 88,0 | 84,0 | 40 | 334,5 | 327,5 |
| 19,5 | 209,0 | 203,0 | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 143,0 | 166,0 | 80 | 385,5 | 395,0 |
| 60 | 264,5 | 281,5 | 99,8 | 505,0 | 508,0 |

1,7345 spec. Gew. = 474,5 Atome (189,8) $SO_3$
= 828,0 Atome (405,7) HO, $SO_3$
226 = 30,6970.

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 35,0 | 68,0 | 40 | 280,5 | 301,5 |
| 19,5 | 154,5 | 183,0 | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 148,0 | 165,0 | 80 | 386,5 | 394,0 |
| 60 | 267,0 | 279,0 | 99,8 | 504,0 | 506,0 |

1,7078 spec. Gew. = 441,4 Atome (176,6) $SO_3$
= 732,4 Atome (358,9) HO, $SO_3$
180 = 30,3601.

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 29,5 | 43,5 | 40 | 267,0 | 275,0 |
| 19,5 | 115,0 | 157,0 | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 160,0 | 173,5 | 80 | 394,0 | 398,5 |
| 60 | 276,0 | 286,0 | 99,6 | 508,0 | 510,0 |

der Theilstriche, bis zu welchen der Apparat gefüllt war. Um aus diesen Zahlen die specifischen Gewichte der Lösungen zu berechnen, haben folgende Constanten gedient:

Gewicht des luftleeren Apparats = 10,4121.

Gewicht des Wassers, welches den Apparat bis zu den beiden Theilstrichen 0 anfüllt = 11,6254.

Gewicht des Wassers, welches einen Theilstrich anfüllt = 0,000308.

1,6814 spec. Gew. = 408,8 Atome (163,5) $SO_3$
= 646,8 Atome (316,9) HO, $SO_3$
176 = 30,0849.

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 33,5 | 38,0 | 40 | 266,0 | 268,0 |
| 19,5 | 147,0 | 150,5 | | | |

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 158,5 | 177,5 | 80 | 389,0 | 399,5 |
| 60 | 273,5 | 288,0 | 99,8 | 505,0 | 508,0 |

1,6303 spec. Gew. = 350,2 Atome (140,1) $SO_3$
= 511,4 Atome (250,6) HO, $SO_3$
175 = 29,4523.

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 25,0 | 20,5 | 40 | 253,0 | 248,0 |
| 19,5 | 137,0 | 132,0 | | | |

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 171,0 | 172,5 | 80 | 394,0 | 393,0 |
| 60 | 282,0 | 283,0 | 100,0 | 504,0 | 504,0 |

1,5825 spec. Gew. = 306,1 Atome (122,5) $SO_3$
= 422,6 Atome (207,1) HO, $SO_3$
209 = 28,9117.

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 24,0 | 25,5 | 40 | 252,0 | 251,0 |
| 19,5 | 135,5 | 136,0 | | | |

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 19,5 | 61,0 | 71,0 | 80 | 399,5 | 403,0 |
| 60 | 288,0 | 293,5 | 99,7 | 508,0 | 509,0 |

1,5341 spec. Gew. = 265,6 Atome (106,3) $SO_3$
= 349,1 Atome (171,1) HO, $SO_3$
223 = 28,3522.

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 20,5 | 32,0 | 19,5 | 132,0 | 141,5 |

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 19,5 | 63,5 | 69,0 | 80 | 401,0 | 401,0 |
| 40 | 179,0 | 183,0 | 99,6 | 506,0 | 509,0 |
| 60 | 290,0 | 291,5 | | | |

1,4957 spec. Gew. = 236,4 Atome ( 94,5) $SO_3$
= 300,2 Atome (147,1) HO, $SO_3$
183 = 27,8847.

| Temp. | *a* | *b* | Temp. | *a* | *b* |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 30,0 | 44,0 | 19,5 | 141,0 | 153,0 |
| 19,5 | 69,0 | 71,0 | 80 | 406,0 | 404,0 |
| 40 | 184,0 | 185,0 | 99,4 | 511,0 | 510,5 |
| 60 | 295,0 | 294,0 | | | |

1,4557 spec. Gew. = 209,8 Atome ( 83,9) $SO_3$
= 258,7 Atome (126,7) HO, $SO_3$
181 = 27,4162.

| Temp. | *a* | *b* | Temp. | *a* | *b* |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 41,0 | 36,5 | 19,5 | 150,0 | 146,0 |
| 19,5 | 50,0 | 68,5 | 80 | 390,5 | 398,0 |
| 40 | 166,0 | 181,0 | 100,1 | 502,0 | 508,0 |
| 60 | 277,5 | 289,0 | | | |

1,4007 spec. Gew. = 174,5 Atome ( 69,8) $SO_3$
= 207,0 Atome (101,4) HO, $SO_3$
214 = 26,7876.

| Temp. | *a* | *b* | Temp. | *a* | *b* |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 29,5 | 34,0 | 19,5 | 139,0 | 142,5 |
| 19,5 | 58,5 | 50,5 | 80 | 396,5 | 388,5 |
| 40 | 174,0 | 165,0 | 99,7 | 504,0 | 502,0 |
| 60 | 284,5 | 276,0 | | | |

1,3534 spec. Gew. = 146,9 Atome (58,8) $SO_3$
= 169,3 Atome (83,0) HO, $SO_3$
189 = 26,2242.

| Temp. | *a* | *b* | Temp. | *a* | *b* |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 26,5 | 35,0 | 19,5 | 136,5 | 144,0 |
| 19,5 | 50,5 | 57,0 | 80 | 396,0 | 396,0 |
| 40 | 167,5 | 172,0 | 100,1 | 509,0 | 513,5 |
| 60 | 281,0 | 283,0 | | | |





1,3077 spec. Gew. = 122,8 Atome (49,1) $SO_3$
= 138,0 Atome (67,6) HO, $SO_3$
201 = 25,6960.

| Temp. | *a* | *b* | Temp. | *a* | *b* |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 9,0 | 16,0 | 19,5 | 120,0 | 126,0 |
| 19,5 | 40,0 | 45,0 | 80 | 390,0 | 390,0 |
| 40 | 158,5 | 161,0 | 99,9 | 506,0 | 508,5 |
| 60 | 273,0 | 274,5 | | | |

1,2559 spec. Gew. = 97,1 Atome (38,9) $SO_3$
= 106,4 Atome (52,2) HO, $SO_3$
202 = 25,0901.

| Temp. | *a* | *b* | Temp. | *a* | *b* |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 32,0 | 41,0 | 40 | 266,0 | 271,0 |
| 19,5 | 145,0 | 152,5 | | | |
| 40 | 145,0 | 162,0 | 80 | 383,5 | 391,0 |
| 60 | 263,0 | 275,5 | 99,7 | 506,0 | 507,5 |

1,1968 spec. Gew. = 71,0 Atome (28,4) $SO_3$
= 75,9 Atome (37,2) HO, $SO_3$
193 = 24,3962.

| Temp. | *a* | *b* | Temp. | *a* | *b* |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 11,0 | 21,0 | 40 | 239,5 | 244,5 |
| 19,5 | 120,0 | 129,0 | | | |
| 40 | 142,0 | 153,5 | 80 | 380,5 | 385,0 |
| 60 | 259,0 | 267,0 | 99,1 | 502,0 | 502,0 |

1,1515 spec. Gew. = 52,7 Atome (21,1) $SO_3$
= 55,4 Atome (27,1) HO, $SO_3$
156 = 23,8541.

| Temp. | *a* | *b* | Temp. | *a* | *b* |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 36,0 | 46,0 | 40 | 248,5 | 255,0 |
| 19,5 | 136,0 | 145,0 | | | |
| 40 | 146,5 | 154,0 | 80 | 382,0 | 383,5 |
| 60 | 260,0 | 265,0 | 99,9 | 509,0 | 511,0 |

1,[illegible]50 spec. Gew. = 31,8 Atome (12,7) $SO_3$
= 32,9 Atome (16,1) $HO, SO_3$
136 = 23,1576.

| Temp. | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 43,0 | 41,0 | [illegible] | 215,0 | 219,0 |
| 19,5 | 121,0 | 122,0 | | | |
| 40 | 151,0 | 146,0 | 80 | 377,0 | 371,0 |
| 60 | 257,0 | 252,0 | 99,6 | 505,0 | 503,5 |

1,0[illegible]13 spec. Gew. = 16,3 Atome (6,5) $SO_3$
= 16,6 Atome (8,1) $HO, SO_3$
139 = 22,6668.

| Temp | a | b | Temp. | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 31,0 | 23,0 | 60 | 263,0 | 255,5 |
| 19,5 | 82,0 | 75,0 | 80 | 382,0 | 375,0 |
| 40 | 163,5 | 156,0 | 99,6 | 511,0 | 513,5 |

Die nachfolgende Tabelle enthält die Volumina der Lösungen, wie sie sich aus den vorstehenden Angaben berechnen, wenn das Volum bei 19° 5 C. als Einheit angenommen wird. Den einzelnen Columnen dieser Tabelle ist überschrieben *die Atomenmenge der wasserfreien Schwefelsäure, welche in den Lösungen neben* 100 *Gewichtstheilen Wasser enthalten ist.*

$SO_3$

| | 16,3 | 31,8 | 52,7 | 71,0 | 97,1 | 122,8 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 0,99452 | 0,99200 | 0,98995 | 0,98908 | 0,98874 | 0,98889 |
| 19,5 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 |
| 40 | 1,00838 | 1,00985 | 1,01120 | 1,01182 | 1,01201 | 1,01188 |
| 60 | 1,01849 | 1,02062 | 1,02260 | 1,02353 | 1,02376 | 1,02343 |
| 80 | 1,03049 | 1,03270 | 1,03478 | 1,03567 | 1,03573 | 1,03519 |
| 100 | 1,04409 | 1,04602 | 1,04765 | 1,04828 | 1,04801 | 1,04707 |

| | 146,9 | 174,5 | 209,8 | 236,4 | 265,6 | 306,1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 0,98900 | 0,98905 | 0,98904 | 0,98895 | 0,98889 | 0,98885 |
| 19,5 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 |
| 40 | 1,01175 | 1,01164 | 1,01158 | 1,01158 | 1,01161 | 1,01163 |
| 60 | 1,02312 | 1,02286 | 1,02271 | 1,02272 | 1,02273 | 1,02276 |
| 80 | 1,03466 | 1,03422 | 1,03397 | 1,03390 | 1,03389 | 1,03395 |
| 100 | 1,04621 | 1,04552 | 1,04511 | 1,04490 | 1,04486 | 1,04496 |

| | 350,2 | 408,8 | 441,4 | 474,5 | 504,7 | 551,5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 0,98878 | 0,98867 | 0,98853 | 0,98827 | 0,98806 | |
| 19,5 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 |
| 40 | 1,01165 | 1,01186 | 1,01203 | 1,01225 | 1,01243 | 1,01265 |
| 60 | 1,02288 | 1,02330 | 1,02362 | 1,02407 | 1,02446 | 1,02471 |
| 80 | 1,03414 | 1,03482 | 1,03532 | 1,03597 | 1,03638 | 1,03681 |
| 100 | 1,04531 | 1,04632 | 1,04696 | 1,04772 | 1,04829 | 1,04879 |

Aus den vorstehenden Zahlen wurden mittelst graphischer Interpolation die Volumina abgeleitet, welche die Lösungen zeigen, wenn in denselben neben je 100 Gewichtstheilen Wasser die den nachfolgenden Columnen überschriebene Atomenmenge wasserfreier Schwefelsäure enthalten ist. Die Einrichtung der Tabelle ist die frühere (Bd. 105, S. 376) mit dem Unterschiede jedoch, dafs hier der leichtern Uebersicht wegen die für 20° C. berechneten Volumina angeführt sind.

$SO_3$

| | | 20 | | 40 | | 60 | | 80 | | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 461 | 0,99384 | 278 | 0,99106 | 155 | 0,98951 | 61 | 0,98890 | 16 | 0,98874 |
| | | 635 | | 918 | | 1077 | | 1139 | | 1155 |
| 20 | 9 | 1,00019 | 5 | 1,00024 | 4 | 1,00028 | 1 | 1,00029 | 0 | 1,00029 |
| | | 857 | | 1020 | | 1123 | | 1164 | | 1172 |
| 40 | 264 | 1,00876 | 168 | 1,01044 | 107 | 1,01151 | 42 | 1,01193 | 8 | 1,01201 |
| | | 1026 | | 1105 | | 1155 | | 1177 | | 1174 |
| 60 | 374 | 1,01902 | 247 | 1,02149 | 157 | 1,02306 | 64 | 1,02370 | 5 | 1,02375 |
| | | 1203 | | 1215 | | 1218 | | 1209 | | 1193 |
| 80 | 384 | 1,03105 | 259 | 1,03364 | 160 | 1,03524 | 55 | 1,03579 | 11 | 1,03568 |
| | | 1355 | | 1312 | | 1276 | | 1253 | | 1224 |
| 100 | 325 | 1,04460 | 216 | 1,04676 | 124 | 1,04800 | 32 | 1,04832 | 40 | 1,04792 |

| | | 140 | | 180 | | 220 | | 260 | | 300 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 24 | 0,98898 | 8 | 0,98906 | 4 | 0,98902 | 13 | 0,98889 | 3 | 0,98886 |
| | | 1131 | | 1122 | | 1126 | | 1139 | | 1142 |
| 20 | 0 | 1,00029 | 1 | 1,00028 | 0 | 1,00028 | 0 | 1,00028 | 0 | 1,00028 |
| | | 1149 | | 1134 | | 1130 | | 1133 | | 1135 |
| 40 | 23 | 1,01178* | 16 | 1,01162* | 4 | 1,01158* | 3 | 1,01161 | 2 | 1,01163 |
| | | 1141 | | 1120 | | 1112 | | 1112 | | 1113 |
| 60 | 56 | 1,02319 | 37 | 1,02282 | 12 | 1,02270 | 3 | 1,02273 | 3 | 1,02276 |
| | | 1161 | | 1135 | | 1123 | | 1116 | | 1118 |
| 80 | 88 | 1,03480 | 63 | 1,03417* | 24 | 1,03393* | 4 | 1,03389* | 5 | 1,03394* |
| | | 1162 | | 1126 | | 1109 | | 1097 | | 1099 |
| 100 | 150 | 1,04642 | 99 | 1,04543 | 41 | 1,04502 | 16 | 1,04486 | 7 | 1,04493 |

| | | 380 | | 460 | | 540 | | 620 | | 700 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° C | 12 | 0,98874 | 34 | 0,98840 | 48 | 0,98792 | 13 | 0,98805 | 47 | 0,98852 |
| | | 1155 | | 1190 | | 1239 | | 1225 | | 1177 |
| 20 | 1 | 1,00029 | 1 | 1,00030 | 1 | 1,00031 | 1 | 1,00030 | 1 | 1,00029 |
| | | 1145 | | 1185 | | 1232 | | 1212 | | 1171 |
| 40 | 11 | 1,01174 | 41 | 1,01215 | 48 | 1,01263 | 21 | 1,01242 | 42 | 1,01200 |
| | | 1133 | | 1171 | | 1205 | | 1208 | | 1168 |
| 60 | 31 | 1,02307 | 79 | 1,02386 | 82 | 1,02468 | 18 | 1,02450 | 82 | 1,02368 |
| | | 1139 | | 1184 | | 1205 | | 1201 | | 1172 |
| 80 | 52 | 1,03446* | 124 | 1,03570* | 103 | 1,03673 | 22 | 1,03651 | 111 | 1,03540* |
| | | 1134 | | 1171 | | 1201 | | 1184 | | 1153 |
| 100 | 87 | 1,04580 | 161 | 1,04741 | 133 | 1,04874 | 39 | 1,04835 | 142 | 1,04693 |

Wenn von den vorstehenden Zahlen zunächst die in ein und derselben verticalen Columne befindlichen miteinander verglichen werden, so wachsen, wie diefs auch früher beobachtet wurde, die zwischenliegenden Differenzen mit steigender Temperatur, jedoch, was früher nicht deutlich genug hervortrat, nur innerhalb bestimmter Gränzen. Diese Gränzen sind in der vorstehenden Tabelle durch Sternchen bezeichnet und bilden miteinander verbunden eine Gränzlinie, welche von dem Concentrationsgrade 0 bis zu dem Concentrationsgrade 100 noch unbestimmt über 80° C. verläuft, dann aber für die Concentrationsgrade 140 bis 220 bei etwa 40° C. sichtbar wird, um sich alsdann wieder bei den Concentrationsgraden 260 bis 700 unterhalb 20° C. der weitern Beobachtung zu entziehen. Neben dieser Gränzlinie verläuft in ähnlicher Richtung noch eine zweite und zwar auch wieder unbestimmt über 80° C.

bei den Concentrationsgraden 0 bis 140 und darauf bei etwa 80° C. innerhalb der Concentrationsgrade 180 bis 460. Bei den Concentrationsgraden 540 bis 620 dagegen scheint dieselbe wieder unbestimmt über 80° C. zu verlaufen und wird wieder beobachtet bei etwa 80° C. und dem Concentrationsgrade 700.

Diejenigen der früher untersuchten Salzlösungen, welche eine der hier behandelten Gränzlinien beobachten lassen, sind folgende: Li Cl bei dem Concentrationsgrade 180 und etwa 80° C; ferner Ba J bei dem Concentrationsgrade 80 und etwa 80° C; alsdann Sr J bei dem Concentrationsgrade 100 und etwa 80° C. und wahrscheinlich auch noch Ca J bei einer von letztgenannter nur wenig verschiedenen Concentration und Temperatur (Bd. 111, S. 70).

Wenn nun weiter von den Zahlen der vorstehenden Tabelle die in ein und derselben horizontalen Linie befindlichen miteinander verglichen werden, so erreichen dieselben, wie aus dem Vorzeichen der zwischenliegenden Differenzen ersichtlich ist, innerhalb der Concentrationsgrade 0 und 700 zweimal ein Maximum. Die Lage dieser beiden Maxima ändert sich in dem Intervall 0 bis 100° C. nur wenig. Das erste Maximum, welches bei 0° und dem Concentrationsgrade 100 liegt, ist bei 100° C. erst bis zu dem Concentrationsgrade 80 verschoben [1]); das zweite Maximum, welches bei 0° und dem Concentrationsgrade 564 liegt, ist bei 100° C. nur bis zu dem Concentrationsgrade 556 verschoben [2]). Das zwischenliegende Minimum dagegen verfolgt nicht nur eine ganz andere Richtung, sondern ändert überdiefs auch noch seine Lage ganz bedeutend, sofern es nämlich, bei 0° und dem Concentrationsgrade 192

1) 101,0 $= SO_3 + 11$ aq und 79,4 $= SO_3 + 14$ aq.

2) 555,6 $= SO_3 + 2$ aq. Eine Folge dieses Maximums ist die bekannte merkwürdige Erscheinung, dafs die Verbindung $SO_3 + 2$ aq schon bei etwa $+9°$ C. erstarrt, die Verbindung $SO_3 +$ aq dagegen erst bei etwa $-25°$ C. Dieselbe Erscheinung findet sich auch bei der Ueberchlorsäure, denn nach den Beobachtungen von Roscoe (Jahresb. f. 1861) wird die Verbindung $ClO_7 +$ aq noch nicht fest bei $-35°$, wogegen $ClO_7 + 3$ aq erst bei $+50°$ schmilzt.

liegend, bei 100° schon bis zu dem Concentrationsgrade 264 verschoben ist [1]). Es ist daher möglich, dafs unter 0° das eine und über 100° das andere Maximum verschwindet. Durch die Lage der vorerwähnten beiden Maxima bedingt, nimmt die Distanz gleichen Volums bei fortwährend gesteigerter Concentration abwechselnd ab und zu (Bd. 111, S. 72 und Bd, 114, S. 52).

Werden nun weiter die Zahlen der vorstehenden Tabelle mit den Ausdehnungscoëfficienten des Wassers (Bd. 114 S. 63) verglichen, so sind dieselben bei allen bisher beobachteten Concentrationsgraden gröfser als letztere. Wenn neben $SO_3$ auch noch entweder LiO oder NaO oder KO von dem Wasser aufgenommen wird, so ist die Ausdehnung bei allen bisher beobachteten Concentrationsgraden geringer als bei $SO_3$, jenseits bestimmter Gränzen sogar noch geringer als die des Wassers (Bd. 114, S. 51).

Aus den Werthen der vorstehenden Tabelle berechnen sich die Volumina, welche die Lösungen der Schwefelsäure bei den verschiedenen Temperaturen einnehmen, *wenn bei jeder dieser Temperaturen das Volum des lösenden Wassers als* 100 *angenommen wird*, wie folgt:

| | Atome $SO_3$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| 0° C. | 101,34 | 103,04 | 105,06 | 107,36 | 109,88 |
| 19,5 | 101,80 | 103,80 | 106,00 | 108,40 | 110,96 |
| 40 | 102,06 | 104,24 | 106,56 | 109,02 | 111,60 |
| 60 | 102,18 — | 104,44 — | 106,82 — | 109,30 — | 111,88 — |
| 80 | 102,18 | 104,44 | 106,82 | 109,30 | 111,88 |
| 100 | 102,12 | 104,34 | 106,68 | 109,12 | 111,66 |
| | 140 | 180 | 220 | 260 | 300 |
| 0° C. | 115,28 | 120,88 | 126,58 | 132,32 | 138,30 |
| 19,5 | 116,38 | 122,02 | 127,78 | 133,60 | 139,64 |
| 40 | 117,04 | 122,68 | 128,48 | 134,32 | 140,40 |
| 60 | 117,28— | 122,92— | 128,72— | 134,58— | 140,66— |
| 80 | 117,24 | 122,84 | 128,62 | 134,46 | 140,56 |
| 100 | 116,94 | 122,50 | 128,24 | 134,06 | 140,12 |

1) $185{,}2 = SO_3 + 6aq$ und $277{,}8 = SO_3 + 4aq$.

| | 380 | 460 | 540 | 620 | 700 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° C. | 150,46 | 163,18 | 176,80 | 191,32 | 206,90 |
| 19,5 | 151,94 | 164,84 | 178,68 | 193,34 | 208,98 |
| 40 | 152,78 | 165,82 | 179,84 | 194,56 | 210,20 |
| 60 | 153,10— | 166,24— | 180,34 | 195,10 | 210,70— |
| 80 | 153,02 | 166,20 | 180,34 | 195,10 | 210,64 |
| 100 | 152,58 | 165,80 | 179,94 | 194,64 | 210,10 |

Werden die vorstehenden Zahlen in verticaler Linie verfolgt, so rückt das Maximum des Volums, wie diefs auch früher (Bd. 111, S. 78 und Bd. 114, S. 54) in fast allen Fällen beobachtet wurde, mit steigender Concentration in niedrigere Temperaturen, denn während es für den Concentrationsgrad 20 bei etwa 70° gefunden wird, liegt es für den Concentrationsgrad 460 bei etwa 60°. Wenn dasselbe über diesen Concentrationsgrad hinaus wieder bei 70° erscheint, so ist diefs nur vorübergehend und durch das vorerwähnte aufsergewöhnliche Verhalten der Verbindung $SO_3 + 2aq$ bedingt.

Werden die vorstehenden Zahlen in horizontaler Linie verfolgt, so finden sich Inflexionspunkte, wie solche bei früher (Bd. 115, S. 399) behandelten Volumscurven mitunter deutlich sichtbar wurden, in dem vorliegenden Falle ungeachtet der weiten Distanzen noch nirgendwo.

In der vorliegenden Untersuchung wurde, wie auch früher bei den Salzlösungen, angenommen, dafs die Schwefelsäure während der Lösung mit der ganzen lösenden Wassermenge gleichmäfsig verbunden sey und erst beim Austritt aus der Lösung sich je nach Umständen mit einem oder mehreren der nächstliegenden Wasseratome inniger verbinde. Die aufsergewöhnliche Fähigkeit der Schwefelsäure, die lösenden Wasseratome durch massenhaftes Dazwischentreten von einander zu entfernen, ist wohl mit ein Grund, dafs aufser der Krystallisationsweise $SO_3$ bisher nur noch die Krystallisationsweisen $SO_3 + aq$ und $SO_3 + 2aq$ beobachtet wurden. Wo die Gränzpunkte (Bd. 115, S. 412) dieser drei Krystallisationsweisen liegen, darüber mögen spätere die Volumscurve der gesättigten Lösung betreffende Versuche entscheiden.

Nachdem nun die Aenderungen, welche das Volum des lösenden Wassers durch den Eintritt der Schwefelsäure erleidet, bekannt sind, wird ein Vergleich der vorstehenden Tabelle mit frühern (Bd. 114, S. 53) die weitere Aenderungen veranschaulichen, welche dadurch bedingt werden, dafs neben jedes der aufgelösten Atome $SO_3$ sich noch entweder ein Atom $LiO$ oder ein Atom $NaO$ oder ein Atom $KO$ lagert [1]).

1) Die Stellung, welche die beiden neuerdings entdeckten Atome Rubidium und Caesium zu der bisher behandelten Gruppe einnehmen können, wird durch das folgende Schema veranschaulicht.

| Li | Na | K | | Rb | | Cs |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mg | Zn | Cd | | | | |
| Ca | Sr | Ba | | | | |

Die Modificationen $\left(\frac{h-m}{h}\right)$ des mittlern Atomgewichts berechnen sich bei Annahme der im Jahresbericht für 1861 angeführten Atomgewichte wie folgt:

Wenn $h = \frac{Li + Rb}{2}$ und $m = K$ ist, so ist $\frac{h-m}{h} = + 0{,}164$.

Wenn $h = \frac{K + Cs}{2}$ und $m = Rb$ ist, so ist $\frac{h-m}{h} = - 0{,}051$.

Diese Werthe überschreiten beide die Gränze, innerhalb welcher die früher (Bd. 100, S. 269) angeführten Modificationen des mittlern Atomgewichts liegen. Es ist diefs leicht erklärlich, da der Abstand der einzelnen Atome im vorliegenden Falle der doppelte des frühern ist, sich hier also nur eine Erscheinung wiederholt, welche schon früher (Bd. 96, S. 53, Tabelle IV) bei der Mischung verschiedener Concentrationsgrade ein und derselben Salzlösung beobachtet wurde. Bei dieser Gelegenheit mufs übrigens noch bemerkt werden, dafs in Folge der Aenderung des Atomgewichts von Li in dem vorerwähnten Schema (Bd. 100, S. 269) zwei Werthe geändert werden müssen, nämlich $- 0{,}007$ in $+ 0{,}002$ und $+ 0{,}094$ in $+ 0{,}111$. Auch kann hier noch hervorgehoben werden, dafs nach den Beobachtungen von Bunsen (*Ann. Chem. Pharm.* Bd. 125, S. 367) das Rubidium sowohl hinsichtlich seines Atomvolums, als auch hinsichtlich seines Schmelzpunktes der Reihe Li Na K sich anschliefst (Bd. 101, S. 274).

Werden zu diesem Zwecke zunächst wieder die verticalen Columnen miteinander verglichen, die Volumscurven also, bei welchen der Concentrationsgrad constant ist, so schneiden sich die beiden Curven 20 Atome $SO_3$ und 20 Atome LiO, $SO_3$ bei etwa 48° derart, dafs unterhalb dieser Temperatur das Volum der Lösung von 20 Atomen $SO_3$ durch den weitern Eintritt von 20 Atomen LiO gröfser, oberhalb dieser Temperatur dagegen kleiner wird. Die Curven 40 Atome $SO_3$ und 40 Atome LiO, $SO_3$ schneiden sich in derselben Weise erst bei 84° und die Curven 20 Atome $SO_3$ und 20 Atome NaO, $SO_3$ ebensowohl als auch die Curven 20 Atome $SO_3$ und 20 Atome KO, $SO_3$ erst unbestimmt über 100°. Es tritt also auch hier wieder der früher schon oft beobachtete Fall ein, dafs gesteigerte Concentration und Substitution ähnlicher schwererer Atome in gleichem Sinne wirken.

Werden die horizontalen Columnen miteinander verglichen, die Volumscurven also, bei welchen die Temperatur constant ist, so verläuft die Curve $SO_3$ sowohl bei 0° als auch bei 19°,5 und 40° unterhalb der Curve LiO, $SO_3$ wohingegen bei 60° diese relative Lage erst mit dem Concentrationsgrade 28, bei 80° mit dem Concentrationsgrade 38 und bei 100° erst mit einem noch höhern bisher noch nicht bestimmten Concentrationsgrade beginnt.

## VII. *Ueber einige angebliche Meteorsteinfälle; mitgetheilt von Hrn. P. A. Kesselmeyer in Frankfurt a. M.*

In den *Unterhaltungen aus dem Gebiete der Astronomie, Geologie und Meteorologie von Dr. Ed. Heis,* 1857, S. 392 befindet sich die Notiz, dafs am 26. Nov. 1857 auf einer Besitzung, 2 Meilen von *Königsberg*, eine Feuerkugel beobachtet worden sey, welche unter donnerähnlichem Krachen auf der Erde zerplatzte und einen Meteorstein von bedeutenden Dimensionen hinterlassen habe.

Die Richtigkeit dieser, einer Zeitungsnachricht entnommenen Mittheilung ward jedoch später von Hrn. Prof. Heis selbst bezweifelt, da nichts Zuverlässiges weiter in der Sache bekannt wurde. Nach einer durch die gütige Vermittelung des Hrn. Elditt in Königsberg von Hrn. Oberlehrer Dr. J. Schumann in Königsberg erhaltenen näheren Auskunft ist dieser vorgebliche Meteorsteinfall jedoch gänzlich zu streichen. Das Thatsächliche an der ganzen Sache besteht nach eben dieser Auskunft nur allein darin, dafs ein Knecht seinem bei Knippelldorf ansässigen Herrn von einer Feuerkugel erzählt hat, die über dem Gute fortgezogen sey, und dafs der Herr selbst am nächsten Tage auf seinem Felde einen zerplatzten Stein gefunden. Ein Fragment dieses Steines hat Hr. Dr. Schumann an Ort und Stelle gesehen: es ist ein gemeiner Granit gewesen.

Nach derselben Mittheilung ist auch ein vermeintlicher Meteorstein, der im Jahre 1854 von einem Fischer auf der *curischen Nehrung* gefunden worden war, nicht von meteorischem Ursprung. Da derselbe an verschiedenen Stellen Goldglanz gezeigt hatte, war er als Merkwürdigkeit nach Rufs, einem Flecken in Lithauen, zum Verkauf gebracht worden. Aus einer von Hrn. Prof. Rammelsberg an einem ihm durch Hrn. Dr. Schumann übersandten

Stücke angestellten Analyse ergab sich jedoch, dafs der angebliche Meteorstein nichts weiter gewesen als eine alte Eisenschlacke.

Canonicus Stark führt in seinem *Meteorologischen Jahrbuch von* 1836, S. 45, an, dafs am 8 Dec. 1826 Abends gegen 8 Uhr ein glänzender Meteorstein, beiläufig 5 Pfd. schwer, in dem Flecken *Zus* im Ober-Engadin herabgefallen sey, nachdem er vorher, etwa 10 Schuh von der Erde, in kleine Stücke zerplatzt war. In dem meteorolog. Jahrbuch ist zwar Zug im Ober-Engadin gesagt, allein dieses ist wohl sicher nur ein Druckfehler. Auf einer Reise in das Engadin hatten diesen Sommer die HH. F. C. Noll und Dr. Karl Fresenius, beide Lehrer an der hiesigen höheren Bürgerschule, die Güte, sich in Zuz selbst nach jenem Naturereignifs zu erkundigen, und sie erfuhren, dafs ein Bruder eines Augenzeugen desselben noch am Leben sey und daher nähere Auskunft darüber durch diesen erhalten werden könne. Auf eine brieflich an denselben, Hrn. J. P. Rascher in Zuz, gerichtete Anfrage war derselbe so freundlich, unterm 15. Sept. d. J. folgende Antwort zu ertheilen:

»In Beantwortung Ihrer werthen Anfrage in Betreff eines Meteorsteines kann ich Ihnen keine weitere Auskunft ertheilen, als dafs wirklich anno 1836 in der Nähe unseres Dorfes ein Meteor gefallen ist und mit furchtbarem Knall im Schnee zersprang. Ein Stab Saumrosse, welche eben in der Nähe waren, sprangen wild aus einander. Mein sel. Bruder und Mehrere, die Zeuge davon waren, suchten nach, und fanden ein Stück dieses Meteors von der Form einer zersprungenen Hohlkugel. Die Masse war strahlförmig und erzartig. Ich kann leider nicht sagen, ob dieser Fund abhanden gekommen oder ob, was wahrscheinlicher ist, mein sel. Bruder ihn an irgend ein Naturaliencabinet abgeliefert habe.«

»Im gleichen Jahre schlug der Blitz in eine Kuhheerde und tödtete 30 Stück. Der Hirt sah den Blitz in die Erde fallen und fand beim Nachgraben eine bronzeartige unförmliche Masse von der Gröfse einer Wallnufs und etwa $\frac{1}{2}$ Pfd.

schwer. Dieses Stück liegt hier zu Jedermanns Einsicht aufbewahrt.«

Obgleich diese Auskunft mit der, vielleicht ebenfalls nur einer ungenauen Zeitungsnachricht entommenen Notiz in Stark's Jahrbuch darin nicht ganz übereinstimmt, daſs das Meteor nach Letzterer mitten im Flecken Zuz, nach Ersterer aber in der Nähe desselben auf freiem Felde zur Erde gefallen sey: so scheint doch im Ganzen das wirkliche Herniederfallen einer Feuerkugel in jener Gegend bestätigt. Ob aber die beim Nachgraben gefundene Masse wirklich von diesem Meteore herrühre, bleibt nichtsdestoweniger sehr zweifelhaft. Denn die Beschreibung dieser Masse, wonach sie von der Gestalt einer zersprungenen Hohlkugel und strahlförmig erzartig gewesen, stimmt wenig mit den Gestalten und Massenbildungen überein, unter welchen wirkliche Meteorsteine gewöhnlich aufzutreten pflegen. Um so mehr würde es daher interessant seyn, wenn die fragliche Masse wieder aufgefunden und einer genaueren Prüfung unterworfen werden könnte. Bis jetzt scheinen jedoch desfallsige Bemühungen des Hrn. Rascher ohne Erfolg geblieben zu seyn. Auch eine genauere Untersuchung des angeblichen Blitzsteines dürfte wohl nicht uninteressant seyn, zumal da dieser ja noch zu jedermanns An- und Einsicht vorhanden ist.

Endlich hat ein nach den *Dresdener Nachrichten* vom 27. März 1863 angeblich auf dem Rittergute *Wilmsdorf* bei Dresden gefallener und sofort an das Britische Museum in London verkaufter, 220 Pfd. schwerer Meteorstein nach einer durch Hrn. Dr. Geinitz in Dresden alsbald an Ort und Stelle eingezogenen Erkundigung sich als die müſsige Erfindung irgend eines unbekannten Kopfes erwiesen. In dem *Dresdener Journal* vom 5. April 1863 findet sich die betreffende Mittheilung von Seiten des Hrn. Dr. Geinitz.

## VIII. *Ueber ein neu aufgefundenes Meteoreisen; von W. Wicke und F. Wöhler.*

(Aus den Göttinger Nachrichten usw. 1863 No. 20.)

Die Eisenmasse, über die wir die folgende kurze Mittheilung geben, wurde in einem Sandsteinbruch auf dem Bückeberge bei Obernkirchen (Schaumburg) in einer Sandschicht 15 Fuſs unter der Oberfläche und 10 Fuſs über den Sandsteinbänken gefunden und blieb hier lange Zeit unbeachtet liegen. Sie gelangte nachher in die Hände des Hrn. Wiepken, Vorsteher des Museums in Oldenburg, durch den wir die erste Nachricht von diesem merkwürdigen Funde bekamen. Derselbe überschickte uns ein kleines davon abgelöstes Fragment, mit der Anfrage, ob es, wie er vermuthe, Meteoreisen sey. Eine Fläche daran war bereits geätzt und zeigte die den meisten Meteoreisen so eigenthümlichen Figuren, die nach erneuerter sorgfältigerer Politur und Aetzung mit groſser Schönheit zum Vorschein kamen, und nicht den geringsten Zweifel an dem kosmischen Ursprung dieser Masse lieſsen.

Obgleich Hr. Wiepken nicht selbst im Besitz derselben ist, so hatte er doch die Gefälligkeit, bei dem eigentlichen Besitzer und Finder die Erlaubniſs zu erwirken, sie uns zur Ansicht und Beschreibung hieher schicken zu dürfen. An einen Ankauf konnten wir nicht denken, da für die Masse von anderer Seite her angeblich schon 500 Thaler geboten waren.

Dieses Eisen wiegt fast 82 Pfund. Es hat ungefähr die Form einer unregelmäſsigen vierseitigen Pyramide. An dem der Basis entgegengesetzten Ende geht es in einen schmalen Kamm oder Grath aus. [Das Original veranschaulicht dieſs näher durch ein Paar Holzschnitte].

Die Masse ist noch ganz intact, bis auf das kleine, 18 Grm. schwere Stückchen, welches an dem Ende des Kammes abgeschnitten wurde und an dem auch ein blätt-

riger Bruch zu erkennen ist. Ihre Oberfläche ist stark in braunes und schwarzes Eisenoxydhydrat verwandelt, zum Zeichen, dafs diese Masse schon vor Jahrhunderten gefallen seyn mufs. Auf allen Seiten schwitzen aus denselben Tropfen von Eisenchlorür aus, hier und da aber auch tief grüne Tropfen von Nickelchlorür, die an der Luft grün bleiben.

[Das Original giebt nun in Holzschnitt eine getreue Abbildung der geätzten Fläche des kleinen Stücks in natürlicher Gröfse.]

Der längliche dunkel gehaltene Körper darin ist Schwefeleisen, dessen andere Hälfte man auf der entsprechenden Schnittfläche der ganzen Masse wahrnimmt. Die beiden neben einander liegenden schwarzen Punkte sind ohne Metallglanz, sie scheinen Chromeisenstein zu seyn. In einer gewissen Richtung zeigt die Fläche im Sonnenschein stark glänzende parallele Linien. Ganz dieselben, durch ihre Feinheit ausgezeichneten Figuren zeigt eine kleine angeschliffene und geätzte Fläche auf der entgegengesetzten Basis der Masse.

Das Eisen ist ganz passiv; nach tagelanger Berührung reducirt es kein Kupfer aus dessen Salzen. Sein specifisches Gewicht ist ungewöhnlich klein, es ist nur 7,12. Das 2,9 Grm. schwere Stückchen, welches zur Bestimmung gedient hatte, wurde zur Analyse verwendet, es löste sich, wiewohl nur sehr langsam, ohne allen Rückstand in Salzsäure auf. Die Analyse gab:

| | |
|---|---|
| Eisen | 90,95 |
| Nickel (mit Kobalt) | 8,01 |
| Phosphor | 0,64 |
| | 99,60. |

## IX. *Ueber künstliche Erzeugung des Asterismus; von C. A. Grüel in Berlin.*

Das einfache Verfahren, durch welches man die oben genannte Erscheinung in wenigen Minuten so klar und vollendet, wie sie keins der natürlich vorkommenden Mineralspecies zeigt, darstellen kann, besteht in Folgendem:

Man schneidet ein reines Stück Spiegelglas nach untergelegter Zeichnung oder Papier-Chablone in die Form eines gleichseitigen Dreiecks von $1\frac{1}{2}$ bis 2" Seite, und reibt die Fläche dieses Glasdreiecks auf einer Unterlage von feinem Smirgelpapier einige Mal hin und her, indem man nach einander jede der drei Seiten parallel mit einem metallenen Lineal führt, welches auf dem Smirgelpapier angedrückt, letzteres zugleich in seiner Lage erhält. Die hierdurch entstehende schwache Streifung der Glasfläche stellt genau die Bedingung im Winkel von 60° gekreuzter Linien her, wie sie durch gleichgerichtete Kanten der in einigen Glimmerarten etc. beobachteten Gruppen mikroskopischer Krystalle erfüllt ist.

Da die Beugungs-Phänomene zu den prachtvollsten der Optik gehören, so ist es begreiflich, dafs eine ähnliche aber mit genauen Maschinen ausgeführte regelmäfsige Streifung, die je nach der Winkelgröfse, in welcher die Gitter sich kreuzen, einen 6 bis 8 oder mehrfachen Stern bilden wird, das so zubereitete Glasstück an Schönheit der Wirkung wie durch Erzeugung wirklicher Farbenspectra unendlich übertreffen mufs, während hier wegen unregelmäfsiger Streifung die Spectra sich überdecken und den bekannten Stern nur aus hellen radialen Linien gebildet darstellen, gleich dem von Glimmer etc. erzeugten Stern [1]).

1) Ich erinnere daran, dafs G. Rose (Diese Ann. CXVII, 635) durch Hausenblasen-Abdrücke vom Glimmer ebenfalls Asterismus erzeugt hat P.

## X. *Widerstands-Etalon von Siemens und Halske.*

Der Wunsch, zur Vereinigung über ein bestimmtes Maafs des Widerstandes gegen den Durchgang elektrischer Ströme beizutragen, hat die genannten Inhaber der rühmlichst bekannten Telegraphen-Bau-Anstalt veranlafst eine Anzahl genauer Copien der von Dr. W. Siemens vorgeschlagenen und dargestellten Einheit des Widerstandes eines Quecksilberprismas von 1 Meter Länge und 1mm Querschnitt bei 0° (S. Pogg. Ann. Bd. CX, S. 1 und Bd. CXIII, S. 91, sowie *Phil. Mag. March* 1863) anzufertigen und dieselben an Physiker und Telegraphen-Techniker mit der Bitte zu übersenden, sich ihrer bei Widerstandsbestimmungen zu bedienen.

Auch mich hat die Güte der Hrn. S. und H. mit einem solchen Widerstands-Etalon versehen, begleitet zugleich von einem andern in Form von Glasspiralen, die zur Aufnahme von Quecksilber bestimmt sind. Beide Instrumente, so wie Widerstandsscalen von 1 bis 10000 Einheiten, nach dem Gewichtssysteme geordnet, die ebenfalls in gedachter Anstalt verfertigt werden, entsprechen ihren Zweck gewifs in hohem Grade und verdienen daher die weiteste Verbreitung. P.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstr. 47.



1863. ANNALEN №. 12.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CXX.

## I. *Ablenkung der Magnetnadel durch die Nebenströme der leydener Batterie; von Peter Riefs*[1]).

Nachdem Faraday die beiden einander entgegengerichteten Inductionsströme beim Schliefsen und Oeffnen der voltaschen Kette entdeckt hatte, ging er an den Versuch, eine Induction durch die Entladung einer leydener Batterie zu erregen. Er erwartete augenscheinlich keinen Erfolg; denn als er solchen in der Magnetisirung einer Nadel wirklich erhielt, schrieb er ihn der ungenügenden Isolirung des Hauptdrahtes vom Nebendrahte zu, und erklärte es für unmöglich, die beiden entgegengesetzten Wirkungen von einander zu trennen, die beim Beginnen und Aufhören der Entladung statt finden. Wenn diese Wirkungen, wie er annahm, gleichzeitig auftreten, so müssen sie sich aufheben und es blieb keine Hoffnung, sie einzeln aufzufinden (exper. resear 24, 25). Durch Marianini's, Henry's und meine Versuche wurde indefs gezeigt, dafs der Nebenstrom der leydener Batterie eine Stahlnadel magnetisirt, einen Draht erwärmt, physiologische und elektroskopische Wirkungen ausübt; es war damit erwiesen, dafs die vielen Partialströme, die den Nebenstrom bilden, in der Zeit nach einander fliefsen, und dafs der Theil von ihnen, der mit dem Hauptstrome gleiche Richtung besitzt, schneller abfliefst als der andere, der die entgegengesetzte Richtung verfolgt. Von Henry und mir wurde deshalb dem Gesammtnebenstrome eine dem Hauptstrome gleiche Richtung beigelegt. Dem Nebenstrome eine bestimmte Richtung zuzuschreiben, ist unumgänglich nöthig, um den Zusammenhang

1) Gelesen in der Akad. d. Wiss. 12. Nov. 1863.

der Erscheinungen bei der Vereinigung mehrerer Nebenströme aufzufassen. Zwei gleiche Gesammtnebenströme fügen sich zu einander, wenn sie gleichgerichtet sind, und heben einander auf, wenn sie entgegengerichtet sind, ebenso wie es zwei einfache Ströme thun, deren Partialströme alle gleiche Richtung haben. — Was Faraday dem Nebenstrome im Allgemeinen beigemessen hat, tritt in einem besondern Falle ein. Eine unvollkommene Wirkung des Stromes ist die Ablenkung der Magnetnadel, welche nur die in den einzelnen Partialströmen bewegte Elektricitätsmenge, nicht die Geschwindigkeit ihrer Bewegung angiebt, und erst beginnt, nachdem eine relativ lange Zeit nach der Strombewegung verflossen ist. Hier wirken die in gerader Zahl vorhandenen verschiedenen Partialströme wirklich als gleichzeitige und die Gesammtwirkung aller dieser Ströme, von welchen je zwei eine gleiche Elektricitätsmenge und entgegengesetzte Richtung besitzen, mufs nothwendig Null seyn. Die Magnetnadel bleibt in Ruhe und die Ablenkung steht als Prüfungsmittel des Nebenstromes noch hinter der Magnetisirung zurück; denn so wenig wir auch aus dieser zu schliefsen verstehen, so zeigt sie doch das Daseyn eines Stromes an, die Ablenkung nicht einmal diefs. Es ist deshalb öfter versucht worden, die Partialströme Einer Richtung des Nebenstromes abzuschwächen und dadurch die der entgegengesetzten Richtung zur Wirkung zu bringen. Aber diese Versuche sind bisher entweder ganz erfolglos oder von unsicherem zweifelhaften Erfolge gewesen. Buff hat die Benutzung des Stromes der leydener Batterie aufgegeben, die vom Conductor einer Elektrisirmaschine auf eine Kugel schlagenden Funken als erregenden Strom benutzt, und so Ablenkungen der Magnetnadel durch den Nebenstrom und ein merkwürdiges Resultat über das Auftreten des Nebenstromes im Hauptdrahte erhalten, das ich im Verlaufe dieser Abhandlung näher angeben werde.

Es ist mir jetzt gelungen, Ablenkungen der Magnetnadel von den verschiedenen Nebenströmen der leydener Batterie zu erhalten durch ein so kräftig wirkendes Ver-

fahren, dafs diese Versuche jederzeit mit vollkommener Sicherheit des Erfolges angestellt und mit einander verglichen werden können. Dadurch haben sich einige räthselhafte Erscheinungen aufhellen lassen, die der Nebenstrom bietet, aber freilich auch neue Räthsel geknüpft, die noch ihre Lösung erwarten.

### Magnetische Ablenkung durch den Strom in einem Nebendrahte.

1. Der von Neeff 1838 erfundene [1]) selbstbewegliche Magneto-Inductionsapparat, der von Ruhmkorff 1851 verbessert und seitdem in immer gröfseren Dimensionen ausgeführt, als Ruhmkorff'scher Apparat sehr bekannt geworden ist, liefert schnell auf einander folgende Inductionsströme von abwechselnd entgegengesetzter Richtung. Werden diese Ströme durch das Gewinde eines Multiplicators geleitet, so lassen sie die Magnetnadel unabgelenkt. Eine Ablenkung, und zwar im Sinne der bei Oeffnung der angewandten voltaschen Kette erregten Ströme, wird erhalten, wenn man in der Leitung eine Lücke anbringt und dadurch die der Schliefsung der Kette entsprechenden Ströme vom Multiplicator ausschliefst. Gaugain änderte diesen Versuch glücklich ab, indem er die Lücke, statt in freier, in stark verdünnter Luft herstellte zwischen zwei Elektroden von sehr verschiedener Gröfse [2]). Hierzu wurde in dem als elektrisches Ei bekannten Apparate, die eine der beiden einander gegenüberstehenden Kugeln nebst ihrem Stiele mit einer isolirenden Substanz bekleidet und nur eine sehr kleine Stelle der Kugel nackt gelassen. Der so veränderte Apparat wurde mit dem Namen *oeuf-soupape* oder *soupape électrique* belegt, weil seine Wirkung der eines Ventils ähnlich ist. Leitet man nämlich, nachdem die Luft im Ventile hinlänglich verdünnt ist, die Ströme des Ruhmkorff'schen Apparates so hindurch, dafs der Oeffnungsstrom von der bedeckten zur nackten Kugel geht, so erfolgt die Ablenkung der Nadel an einem in die Lei-

1) Pogg. Ann.* Bd. 46. S. 104.
2) *Compt. rendus** *T.* 40, *p.* 640. Pogg. Ann Bd. 95 S. 163.

tung eingeschalteten Multiplicator, und zwar im Sinne des Oeffnungsstromes; hingegen bleibt die Ablenkung aus bei entgegengesetzter Lage der beiden Kugeln. Ich habe dem Ventile eine einfachere leicht herzustellende Einrichtung gegeben und mehrfache Versuche über Erwärmung und magnetische Ablenkung damit angestellt. Die Erwärmung eines Drahtes sowol durch die Ströme des Inductorium (Ruhmkorff'schen Apparats) wie durch den Entladungsstrom der leydener Batterie war am stärksten bei der Stellung des Ventils welche, bei Anwendung des Inductorium, keine oder eine sehr geringe Ablenkung der Magnetnadel gab. Ich schlofs hieraus, dafs durch das Ventil sowol der Schliefsungs- wie der Oeffnungs-Strom hindurchgehen könne, eine Folgerung, der Gaugain auf das Entschiedenste entgegentrat. Nach seiner Meinung waren die Schliefsungsströme auf seinen Apparat ohne den geringsten Einflufs und der Apparat wirkte als Ventil nur für die Oeffnungsströme [1]). Hiernach war zu erwarten, dafs, wenn das Ventil, was noch fraglich blieb, bei dem Nebenstrome der leydener Batterie anwendbar war, nur der dem Hauptstrome gleichgerichtete Strom in der magnetischen Ablenkung merklich seyn würde, nach meiner Ansicht mufste es auch der entgegengerichtete. Die Versuche, die ich erst seit einem Jahre ausführen konnte, als ich einen Multiplicator erhielt, der vergleichbare Ablenkungen lieferte, entsprachen meiner Erwartung in nicht geahntem Grade. Das Ventil erwies sich als ein äufserst sicheres nie versagendes Mittel, um von allen Nebenströmen der leydener Batterie Ablenkungen der Magnetnadel in dem einen oder andern Sinne zu erhalten und dadurch diese Ströme näher kennen zu lernen, als es bisher möglich war.

2. Das von mir beschriebene Ventil [2]) Fig. 1 Taf. VI im Durchschnitte und in halber Gröfse abgebildet, besteht aus einem hohlen Glascylinder, in dem die Luft verdünnt

1) *Comptes rendus** *T.* 42, *p.* 17.
2) Monatsberichte 1855, S. 395. Pogg. Ann. Bd. 96, S. 179.

wird, nachdem er durch eine aufgelegte Glasplatte luftdicht abgeschlossen ist. Auf die Mitte der Glasplatte ist ein Elfenbeinstab gekittet, durch den ein Platindraht von $\frac{1}{2}$ Millimeter Dicke hindurchgeht, der in der innern Fläche der Platte endigt und äufserlich mit einer Leitung verbunden werden kann. Im Innern des Cylinders steht auf einem Messingstiele eine Messingscheibe von 11 Linien Breite, parallel der Deckplatte und eine Linie von ihr entfernt.

Um die Lage des Ventils in der Leitung kurz anzugeben, werde ich mich des Ausdrucks bedienen, das Ventil habe, in Bezug auf einen Strom von angegebener Richtung die *Spitzenstellung*, wenn jener Strom, im Fall er durch den Cylinder ginge, von der Platinspitze der Deckplatte zur Messingscheibe gehen müfste, und werde mit *Flächenstellung* die entgegengesetzte Stellung bezeichnen. Es soll damit keineswegs gesagt seyn, dafs der genannte Strom im Versuche wirklich durch den Cylinder geht. Der Multiplicator, den ich schon bei andrer Gelegenheit gebraucht habe [1]), besteht aus 57 Windungen eines mit Guttapercha dick umprefsten Kupferdrahtes und einer an einem Coconfaden hängenden Doppelnadel von geringer Richtkraft.

3. Das Gewinde des Multiplicators wurde durch zwei $\frac{17}{24}$ Linie dicke Kupferdräthe, zusammen 49 Fufs lang, in die Schliefsung einer leydener Batterie gebracht, in welcher sich aufserdem eine ebene, aus 13 Fufs Kupferdrath gewundene Spirale von 14 Windungen und $5\frac{3}{4}$ Zoll Breite, und eine mit Wasser gefüllte Röhre befand. Die Entladung der Elektricitätsmenge 10, zu deren Messung die Kugeln der Maafsflasche $\frac{1}{2}$ Linie von einander standen, aus 3 Flaschen von 2,6 Quadratfufs Belegung, brachte eine Ablenkung von 2 und 3 Graden am Multiplicator hervor. Die Richtung der Ablenkung entsprach der des Entladungsstromes, und ich werde sie hier und in der Folge als positive bezeichnen. Darauf entfernte ich die Wasserröhre aus der Schliefsung, löste die Enden der beiden zum Multiplicator führenden Drähte und verband sie durch eine ebene, der

1) Monatsberichte 1857, S. 379.

beschriebenen symmetrisch gleiche Drahtspirale. Diese (Neben-) Spirale wurde der im Schliefsungsbogen der Batterie, der ganz metallisch hergestellt war, befindlichen (Haupt-) Spirale bis 1 Linie normal genähert, und bildete mit dem Gewinde des Multiplicators und den dahin führenden Drähten die Nebenschliefsung. In dieser Nebenschliefsung war eine Lücke gelassen, welche ein elektrisches Ventil einnahm, in dem die Luft bis 2 Linien Quecksilberdruck verdünnt war. Ich werde die Stellung des Ventils in Bezug auf einen Strom angeben, der in der Nebenspirale mit dem Entladungsstrom in der Hauptspirale gleiche Richtung besitzt. Die Ladung der Batterie war die bereits angegebene.

| Ablenkung am Multiplicator durch den Nebenstrom, bei Spitzenstellung des Ventils | Flächenstellung des Ventils |
|---|---|
| — 5 Grad | + 6 |
| — 4 | + 5,5 |
| — 4,5 | + 5 |

Aus diesen Beobachtungen folgt, was sich später im vollsten Maafse bestätigte, dafs der Entladungsstrom der leydener Batterie eine Magnetnadel viel weniger ablenkt, als der durch ihn in einer Spirale von nur 13 Fufs Drahtlänge unter keineswegs günstigen Bedingungen erregte Nebenstrom und dafs der Nebenstrom, wenn er durch ein elektrisches Ventil geht, die Nadel sowol im Sinne eines Stromes ablenkt, der dem Hauptstrome gleichgerichtet ist, wie im Sinne des entgegengerichteten Stromes. Die erste Ablenkung erfolgt, wenn der gleichgerichtete Nebenstrom zuerst die Scheibe, die zweite, wenn er zuerst die Spitze des Ventils trift. Daraus folgt die zur Anwendung bequeme Regel: *Mit Hülfe des el. Ventils und bei jeder Stellung desselben, lenkt der Nebenstrom der leydener Batterie die Magnetnadel im Sinne eines Stromes ab, der von der Scheibe zur Spitze des Ventils geht.*

4. Diefs merkwürdige und, was die Stellung des Ventils bei den entgegengesetzten Ablenkungen betrift, mir unerwartete Ergebnifs wurde durch den Nadelmultiplicator

aufser Zweifel gesetzt. Sonst aber ist diese Versuchsart nicht zu empfehlen, weil das Nadelsystem häufig seine Richtkraft und Stellung ändert und weiter auseinanderliegende Versuche nicht mehr vergleichbar sind. Zu allen folgenden Versuchen bediente ich mich eines Wiedemann'schen Spiegelgalvanometers [1]) das in letzter Zeit von Sauerwald häufig ausgeführt und mit Drahtrollen versehen ist, deren genügend isolirte Windungen den ungestörten Durchgang von Batterieströmen gestatten. Ein magnetisirter Stahlspiegel schwebt an einem Coconfaden in einer Kupferbüchse von 6 Lin. Wanddicke, die durch eine Holzbüchse ersetzt werden kann, und wirft das Bild einer 1505 Mm. entfernten Millimeterscale in ein Fernrohr. Die Ablenkung des Spiegels um einen Scalentheil entspricht demnach $\frac{1718,9}{1505}$ $=$ 1,14 Bogenminute. Jede der beiden vom Spiegel beliebig zu entfernenden Drathrollen, durch welche der elektrische Strom geleitet wird, besitzt 40 Windungen eines $\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ Linie dicken Kupferdrahtes von angeblich 30 Fufs Länge, der mit Cautschuk und einem gefilzten Zeuge umhüllt ist. Wo es nicht anders gesagt ist, habe ich mich bei den folgenden Versuchen, zur Schonung des Spiegels, nur Einer Drahtrolle und der Kupferbüchse bedient. Diese Büchse hebt nicht nur die Schwingungen des Spiegels in wenigen Sekunden auf, sondern verhindert auch die Magnetisirung desselben durch den elektrischen Strom.

5. Ich setzte den Schliefsungsbogen der Batterie ganz metallisch zusammen und fügte dazu eine der in (3) erwähnten ebenen Spiralen von 13 Fufs Drathlänge. Die Elektricitätsmenge 10 wurde aus 3 Flaschen entladen und die Ablenkung am Galvanometer beobachtet. Darauf wurde das elektrische Ventil mit Luft von 2 Lin. Druck in die Schliefsung aufgenommen und die Beobachtung bei verschiedener Stellung des Ventils wiederholt.

1) Wiedemann, Lehre vom Galvanismus.* Braunschw. 1861, Bd. 2, S. 199.

Es erfolgte bei metallischer Schliefsung die
Ablenkung . . . . . . . . . . . + 10,5 Scth.
Spitzenstellung d. Ventils . + 10,5
Flächenstellung . . . . + 10,0

Von dem ganzen Schliefsungsbogen wurde ein kleiner Theil zur Hauptschliefsung der Batterie gemacht, und darin eine ebene Spirale von 13 Fufs Drathlänge aufgenommen. Der übrige Theil des Schliefsungsbogens, zu dem die Galvanometerrolle, das elektrische Ventil und die ebene Spirale gehörten, wurde als Nebenschliefsung benutzt, indem zugleich diese Spirale der in der Hauptschliefsung befindlichen normal bis 1 Linie genähert wurde. Die Verbindung der Dräthe war der Art, dafs ein dem Hauptstrome gleichgerichteter Nebenstrom positive Ablenkungen am Galvanometer geben mufste, und die Stellung des Ventils wird auf diesen Strom bezogen. Die Ladung der Batterie geschah wie früher. Der Nebenstrom gab
bei Spitzenstellung des Ventils die Ablenkung — 40,5 Scth.
Flächenstellung . . . . . . . . . . + 43

Es zeigt sich hier, dafs das Ventil auf die Ablenkung durch den Hauptstrom der Batterie ohne Einflufs bleibt, und wiederholt, dafs diese Ablenkung viel geringer ist, als die durch den Nebenstrom bewirkte. Dafs vermuthlich die Galvanometerrolle den Nebenstrom vergröfsert, die Ablenkung also durch einander folgende Ströme verschiedener Ordnung hervorgebracht wird, lasse ich hier unberücksichtigt, wo es allein darauf ankommt, die Ergebnisse von Versuchen darzulegen.

Die Gröfse der Ablenkung durch den Nebenstrom, die hier das Vierfache der durch den Hauptstrom hervorgebrachten beträgt, ist nicht constant und variirt bedeutend mit dem Luftdrucke im Ventile. Was aber die Richtung dieser Ablenkung betrift, so ist sie in weiter Gränze von dem Luftdrucke unabhängig und ihre Beobachtung bildet einen leichten und sichern Versuch, zu dessen Anstellung weder ein vollkommener Apparat, noch besondere Vorsicht nöthig ist. Wenn man sicher ist, dafs der Luftdruck im

Ventile nicht viel weniger als 2 Linien und nicht viel mehr als 5 Zoll beträgt, so kann man aus dem Anblicke der Verbindung des Ventils mit der Galvanometerrolle mit Bestimmtheit voraussagen, nach welcher Seite die magnetische Ablenkung durch den Nebenstrom erfolgen wird. Die Elektricitätsart, mit der die Batterie geladen ist und die Verbindung des Galvanometers mit Mitte oder Ende der Nebenspirale ist gleichgültig. Die Ablenkung geschieht, wie oben bereits angegeben ist, im Sinne eines Stromes, *der von der Scheibe zur Spitze des Ventils geht.*

6. Um die Abhängigkeit der Ablenkung von dem Luftdrucke im Ventile aufzuzeigen, wurde zuerst die stärkste Verdünnung gebraucht, und durch allmähliches Zulassen von Luft der volle Luftdruck hergestellt. Die Stellung des Ventils wird, wie früher, auf einen Nebenstrom bezogen, der in der Nebenspirale dem Hauptstrome gleichgerichtet ist, und letzterer wiederum durch Entladung der Menge 10 aus 3 Flaschen erhalten

Magnetische Ablenkung durch den Nebenstrom, bei

| Druck im Ventil | | Spitzenstellung | Flächenstellung |
|---|---|---|---|
| Zoll | Linien | des Ventils | |
| | $\frac{5}{4}$ | — 36 Scth. | + 40 |
| | 4 | — 29 | + 35 |
| | 6 | — 28,5 | + 29 |
| 1 | | — 19,5 | + 27,5 |
| 2 | | — 16,5 | + 16,5 |
| 4 | | — 9 | + 16 |
| 8 | | — 4,5 | + 13 |
| 10 | | — 2 | + 13 |
| 12 | | — 0,6 | + 12 |
| 14 | | + 1,5 | + 13,5 |
| 18 | | + 6,5 | + 19,5 |
| 22 | | + 14,3 | + 22,7 |
| 25 | | + 22,3 | + 22,5 |
| 28 | $5\frac{1}{2}$ | + 35,4 | + 31 |

Mit Vermehrung der Luft im Ventile von $\frac{5}{4}$ Linien Quecksilberdruck bis zu vollem Luftdrucke nimmt die magnetische Ablenkung durch den Nebenstrom bei beiden Stellungen des Ventils zuerst ab und zuletzt wieder zu. Bei der Flächenstellung ist diese Aenderung der Gröſse der Ablenkung langsam und die Ablenkung geschieht stets nach derselben Seite, die einem dem Hauptstrome gleichlaufenden Nebenstrome entspricht. Bei Spitzenstellung des Ventils und dünner Luft darin erfolgt die Ablenkung in dem Sinne eines dem Hauptstrome entgegengerichteten Stromes, nimmt mit zunehmendem Luftdrucke schnell ab, ändert zuletzt das Zeichen und nimmt dann wieder schnell zu. Die Wiederholung eines Versuches giebt bei der Spitzenstellung stärker abweichende Zahlen, als bei der Flächenstellung, und in der Nähe des Luftdruckes, wo die Ablenkung ihr Zeichen ändert, also von 10 bis 14 Zoll Druck an, ist selbst dieſs Zeichen nicht constant. Es ist zu erwarten, daſs diese Unsicherheit schon bei einem kleineren Drucke eintritt, wenn man bedeutend stärkere Ladungen der Batterie, als hier, anwendet; doch habe ich keinen solchen Versuch angestellt, der, ohne ein besonderes Interesse zu bieten, die Galvanometerrolle gefährdet haben würde. Bei 14 Zoll und höherem Drucke erfolgt die Ablenkung bei jeder Stellung des Ventils zumeist im Sinne eines dem Hauptstrome gleichgerichteten Stromes, und im Allgemeinen sind bei Flächenstellung des Ventils die Ablenkungen gröſser als bei Spitzenstellung. Nur bei vollem Luftdrucke gab die Spitzenstellung, wie ich öfter gesehen habe, eine gröſsere Ablenkung als die Flächenstellung.

7. Die bisher aufgeführten Versuche zeigen, daſs das elektrische Ventil, bei gehöriger Verdünnung der Luft darin, von den beiden entgegengesetzt gerichteten Strömen, die den Nebenstrom bilden, denjenigen zur sichtlichen Wirkung kommen läſst, dessen Lauf von der Fläche zur Spitze des Ventils geht. Es könnte aber seyn, daſs auch der anders gerichtete Strom, nur mit bedeutend geringerer Elektricitätsmenge, durch das Ventil ginge. Dann müſste ein zwei-

tes Ventil, das der Bildung des anders gerichteten Stromes ein zweites Hindernifs entgegensetzt, die Ablenkung vergröfsern, die durch Ein Ventil bewirkt wird. Zwei gleiche Ventile, in welchen der Luftdruck 2 Linien betrug, wurden erst einzeln, dann gleichzeitig in die Schliefsung des, wie in (6) erregten Nebenstromes gebracht.

| | Magnetische Ablenkung durch den Nebenstrom, bei Spitzenstellung | Flächenstellung |
|---|---|---|
| des Ventils 1 | — 34 Scth. | + 37 |
| 2 | — 35,5 | + 37 |
| beider Ventile | — 35 | + 36 |

Die nahe gleiche Ablenkung bei Anwendung von Einem Ventile und von beiden Ventilen lehrt, dafs Ein Ventil nur den Strom zu Stande kommen läfst, dessen Richtung die Ablenkung angiebt. Als beide Ventile mit entgegengesetzter, abwechselnder Stellung in die Schliefsung eingeschaltet waren, erfolgten die Ablenkungen

+ 10,5 + 14 + 12,5 + 14

Wenn also das Entstehen beider Ströme in gleicher Weise erschwert wird, so kommt mit sehr verminderter Elektricitätsmenge der Strom zu Stande, der in der Nebenspirale dem Strome in der Hauptspirale gleichgerichtet ist.

**Magnetisirung von Stahlnadeln durch den Haupt- und Neben-Strom der Batterie.**

8. In Versuchen die ich über den Einflufs von Metallhüllen auf die Magnetisirung angestellt habe [1]), wurden drei Nadeln durch dieselbe Entladung der Batterie magnetisirt. Auf die erste Nadel wirkte der Hauptstrom allein, auf die zweite der Hauptstrom und zugleich der durch ihn erregte Nebenstrom, auf die dritte der Nebenstrom allein. Aber die Wirkung des Nebenstromes allein liefs keinen Schlufs zu auf die durch Haupt- und Nebenstrom zugleich ausgeübte Wirkung, da es häufig vorkam, dafs die vom Nebenstrome magnetisirte Nadel entgegengesetzt gerichtet war der vom Hauptstrome magnetisirten, und dennoch der-

1) Monatsberichte 1863, 346.

selbe Nebenstrom die Wirkung des Hauptstromes verstärkte. Es war vorauszusehen, dafs dieser Widerspruch fortfallen würde, wenn die beiden entgegengesetzt gerichteten Theile des Nebenstromes von einander geschieden würden und nur einer von ihnen zu Stande käme.

Es wurde der am angeführten Orte S. 356 beschriebene Apparat gebraucht. Zwei gleiche cylindrische Spiralen, jede von 46 Windungen, waren in dem Schliefsungsbogen der Batterie angebracht. Die erste Spirale blieb leer, in die andere wurde eine Spirale von 220 Windungen geschoben, deren Enden durch eine gleiche Spirale mit einander verbunden waren. In diese Nebenschliefsung wurde jetzt durch die beiden Drähte (3) die Rolle des Spiegelgalvanometers, und in eine Lücke der Schliefsung ein el. Ventil eingeschaltet. Bei jedem Versuche wurden 3 Stahlnadeln von $2\frac{1}{2}$ Zoll Länge in die Spiralen gelegt und magnetisirt. Die Magnetisirung, deren Richtung durch die Stellung des Ventils bestimmt wurde, war so stark, dafs ich eine viel schwächere Ladung der Batterie, als in den frühern Magnetisirungsversuchen, gebrauchen mufste. Statt der Elektricitätsmenge 15 wurde hier nur die Menge 8 aus 3 Flaschen entladen, und dennoch eine stärkere Magnetisirung erhalten als früher. Die Stellung des Ventils wie die Zeichen der Magnetisirung und der durch den Nebenstrom bewirkten Ablenkung am Galvanometer sind in Bezug auf einen Strom gegeben, der in der Nebenspirale dem Hauptstrome gleichgerichtet wäre. Der Luftdruck im Ventile stieg während der Versuche von $\frac{5}{4}$ auf 4 Linien.

| Stellung des Ventils | Ablenkung durch den Nebenstrom | Magnetisirung durch den Hauptstrom | Haupt- u. Nebenstrom | Nebenstrom |
|---|---|---|---|---|
| | | Angabe des Magnetoskops | | |
| Flächenstellung | + 2,7 Scalentheile | + 22,7 Grade | + 58 | + 53 |
| | + 3,8 | + 21,5 | + 61 | + 62,4 |
| Spitzenstellung | — 3,2 | + 24,5 | — 26,1 | — 59 |
| | — 3,3 | + 21,7 | — 19 | — 58,7 |
| Flächenstellung | + 3,3 | + 26,2 | + 62 | + 59 |
| | + 3,3 | + 21,7 | + 59,7 | + 61,2 |
| Spitzenstellung | — 3.3 | + 22 | — 28,5 | — 59,7 |
| | — 3,5 | + 20,7 | — 30,5 | — 61,7 |
| *Flächenstellung* | + 3,3 | + 21,7 | + 61 | + 59,2 |
| *Spitzenstellung* | — 3,2 | + 24,1 | — 24,8 | — 57,1 |

9. Der Einflufs des durch ein Ventil gegangenen Nebenstromes auf die vom Hauptstrome bewirkte Magnetisirung tritt hier auf das Klarste hervor. Wenn der Nebenstrom allein dem Hauptstrome gleichgerichtet magnetisirt, verstärkt er, mit jenem vereint, die Magnetisirung; wo er ihm entgegengerichtet magnetisirt, bestimmt er die Richtung der gemeinschaftlich magnetisirten Nadel. Dafs er im zweiten Falle nicht blofs den vom Hauptstrome erregten Magnetismus schwächt, rührt davon her, dafs der Hauptstrom aus 46, der Nebenstrom aus 220 Spiralwindungen auf die Nadel wirkt.

Auffallend bei diesen Versuchen bleibt nur, dafs bei gleichartiger Wirkung beider Ströme der Hauptstrom sehr wenig, bei entgegengesetzter Wirkung sehr kräftig wirkt. Unter positiven Zeichen sind die Magnetisirungen durch den Nebenstrom allein und durch beide Ströme zugleich wenig von einander verschieden, unter negativen Zeichen aber sehr bedeutend. Es kommen Fälle vor, in welchen bei den Verstärkungen der Nebenstrom allein stärker magnetisirt, als mit dem Hauptstrome vereint. Diefs hat nicht den Grund, dafs die stärksten Magnetisirungen dem Sättigungszustande der Nadeln nahe lagen. In einer früher angestellten Versuchsreihe, in welcher das Galvanometer und die zu ihm führenden Drähte fehlten, trat der bemerkte Umstand viel auffallender hervor, indem alle positiven Magnetisirungen durch den Nebenstrom allein gröfser waren, als die gleichzeitig durch den Haupt- und Nebenstrom bewirkten, und zugleich erstreckten sich die Ablenkungen am Magnetoskope bis 80 Grad. Es liegt also hier wieder einer jener räthselhaften Fälle vor der gleichzeitigen Magnetisirung durch verschiedene Ströme, von welchen in dem angeführten Aufsatze Beispiele gegeben wurden.

10. Die Richtung der Magnetisirung durch den Nebenstrom bei Anwendung des elektrischen Ventils mit dünner Luft unterliegt derselben Regel, wie die der Ablenkung am Galvanometer. *Der Nebenstrom magnetisirt bei jeder Stellung*

*des Ventils im Sinne eines Stromes, der von der Scheibe zur Spitze des Ventils geht.*

Merkwürdig ist die starke Magnetisirung durch einen schwachen Nebenstrom, der am Galvanometer eine Ablenkung von nur $3\frac{1}{3}$ Scalentheilen hervorbrachte. Erregt man den Nebenstrom in einer ebenen Spirale und läfst ihn durch ein Ventil gehn, so giebt er das leichteste und kräftigste Mittel, einer Stahlnadel durch die Batterie Magnetismus in einer und der andern Richtung zu ertheilen. Der Nebenstrom übertrifft hierin bei Weitem einen Hauptstrom, der eine gleiche Ablenkung am Galvanometer hervorbringt, und es wird hieraus der grofse Einflufs klar, der bei gleichzeitiger Magnetisirung durch Haupt- und Nebenstrom dem letztern zukommt.

11. Im Schliefsungsdrahte der Batterie, im Fall er weder durch ungewöhnliche Länge noch eine besondere Einrichtung die Bildung des Nebenstromes begünstigt, kommt wesentlich nur der Entladungsstrom zur Wirkung, der nur nach einer Seite gerichtet ist. Das elektrische Ventil mufs demnach auf die durch den Strom bewirkte magnetische Ablenkung ohne Einflufs bleiben. Da aber, wie die Untersuchung der Erwärmung im Bogen gelehrt hat, die Art der Entladung des Stromes je nach der Stellung des Ventils eine verschiedene ist, so war zu erwarten, dafs das Ventil die Magnetisirung ändern werde. In die Schliefsung einer Batterie von 3 Flaschen, die mit der Menge 12 geladen wurde, war die Rolle des Galvanometers, eine cylindrische Spirale von 46 Windungen und das Ventil eingeschaltet. Bei jedem Versuche wurde eine $2\frac{1}{2}$ zöllige Stahlnadel in die Spirale gelegt und danach am Magnetoskope geprüft. Der Luftdruck im Ventile betrug zwei Linien. Die Richtung der Ablenkung und Magnetisirung entsprach überall der Richtung des Entladungsstromes.

Ablenkung und Magnetisirung durch den Hauptstrom, bei

| Spitzenstellung | | Flächenstellung | |
|---|---|---|---|
| des Ventils | | | |
| Ablenkung | Magnetisirung | Ablenkung | Magnetisirung |
| + 11,5 Scth. | + 16,5 Grad | + 11,5 Scth. | + 29,7 Grad |
| 11,5 | 17 | 12 | 30,1 |
| 12 | 17 | 12 | 32,5 |
| 12 | 18,6 | 11,5 | 34,4 |
| | | 12,3 | 34,1 |
| 11,7 | 21,5 | 12 | 33,7 |

Die magnetische Ablenkung durch den Hauptstrom ist dieselbe, das Ventil mag gegen ihn die Flächenstellung oder die Spitzenstellung haben, aber die Magnetisirung ist bei der Flächenstellung bedeutend stärker. Es kommt diefs völlig überein mit frühern Versuchen, in welchen die Erwärmung im Schliefsungsbogen viel gröfser bei der Flächenstellung des Ventils gefunden wurde, als bei der Spitzenstellung [1]).

**Magnetische Ablenkung durch die Ströme höherer Ordnung.**

12. Der secundäre Strom der Batterie, vorzugsweise Nebenstrom genannt, erregt in einem Drahte, der einem Theile seiner Schliefsung parallel nahe liegt, den tertiären Strom, dieser in gleicher Weise den Strom 4ter Ordnung u. s. f. Alle diese Nebenströme der Batterie, wenn sie durch ein el. Ventil mit hinlänglich dünner Luft geschickt werden, lenken die Nadel des Multiplicators nach derselben Regel ab, indem die Richtung der Ablenkung einem Strome entspricht, der von der Fläche zur Spitze des Ventils geht. Ich habe Diefs bis zum Strome fünfter Ordnung verfolgt, zweifle aber nicht, dafs es auch bei Strömen noch höherer Ordnung statt finden werde. Bei einem einzelnen Versuche mit dem Ventile läfst sich also an der magnetischen Ablenkung kein Unterschied wahrnehmen zwischen einem Nebenstrom irgend einer Ordnung und dem Strome nächst niederer oder höherer Ordnung. Ein solcher Unterschied

1) Monatsberichte 1855. 397. Pogg. Ann. Bd. 96 S. 181.

tritt aber in auffallender Weise hervor, wenn man eine längere Versuchsreihe anstellt, bei der die Luft im Ventile von starker Verdünnung successiv zum vollen Luftdrucke gebracht wird. Diefs zeigen die folgenden Versuche.

13. Die in (3) beschriebene Spirale von 13 Fufs Drahtlänge wurde im Schliefsungsbogen der Batterie so angebracht, dafs der Entladungsstrom in ihre Mitte eintrat und aus ihrem Ende austrat. Der Spirale stand in 1 Linie Entfernung die gleiche Nebenspirale normal gegenüber, und diese wurde durch zwei Drähte mit einer ebenen Spirale von 31 Umgängen und 53 Fufs Drahtlänge (der secundären Hauptspirale) in der Art verbunden, dafs die Mitte jeder Spirale mit dem Ende der andern in Verbindung stand. Der secundären Hauptspirale wurde eine ihr gleiche Spirale (die tertiäre Nebenspirale) bis 1 Linie normal genähert, und zur Untersuchung des tertiären Stromes die Enden der letztern mit der Galvanometerrolle und dem Ventile verbunden.

Ich bemerke sogleich, dafs auch in der Folge je zwei Spiralen, die zu Einem Kreise gehörten, an entgegengesetzten Enden mit einander verbunden wurden. Dadurch ist die Angabe des Sinnes der Ablenkung und der Stellung des Ventils bei einem Nebenstrome jeder Ordnung leicht und unzweideutig. Da nämlich jene Angabe stets auf den Hauptstrom bezogen wird, und durch die angegebene Verbindung der Spiralen ein dem Hauptstrome gleichgerichteter Strom in jeder Spirale von der Mitte zum Rande laufen mufste, so sagt das positive Zeichen der Ablenkungen, dafs sie in dem Sinne eines Stromes geschehn, der aus dem Randende der letzten Spirale austritt, und »Spitzenstellung des Ventils« dafs die Platinspitze des Ventils mit jenem Ende metallisch verbunden ist. Zur Erläuterung des Gesagten füge ich die schematische Zeichnung des Apparates hinzu, der bei Untersuchung des Stromes 5ter Ordnung gebraucht wurde. In Fig. 2 Taf. VI deuten die Pfeile die ebenen Spiralen an, die Spitzen daran entsprechen den Randenden, und geben zugleich die Richtung gleichlaufender Ströme.

Mit *r* ist die Rolle des Galvanometers, mit *v* das el. Ventil bezeichnet. Letzteres steht in der Figur in Spitzenstellung.

14. Bei den folgenden Versuchen mit dem tertiären Strome bestand, wie oben bei dem secundären, die Batterie aus 3 Flaschen und wurde mit der Menge 10 geladen.

| Luftdruck im Ventile | | Magnetische Ablenkung durch den tertiären Strom, bei | |
|---|---|---|---|
| Zoll | Linien | Spitzenstellung des Ventils | Flächenstellung des Ventils |
| | 1,5 | — 32 Scth. | + 31 |
| | 5 | — 29 | + 29 |
| 1 | | — 25 | + 19 |
| 2 | | — 19 | + 14 |
| 4 | | — 16 | + 13 |
| 8 | | — 14,5 | + 6 |
| 12 | | — 10 | + 4 |
| 16 | | — 11,5 | + 1 ,5 |
| 20 | | — 13 | + 0 ,3 |
| 24 | | — 14 | — 5 |
| 28 | 2 | — 15 | [illegible]13,5 |

Wie bei dem secundären Strome erfolgen hier die meisten Ablenkungen bei Flächenstellung des Ventils im Sinne eines dem Hauptstrome gleichgerichteten, bei Spitzenstellung eines ihm entgegengerichteten Stromes. Aber im Gegensatze zu den Versuchen am secundären Strome sind es hier die Ablenkungen bei der Spitzenstellung, die mit wachsendem Luftdrucke langsam abnehmen und durchweg ihr Zeichen behalten, während die Ablenkungen bei Flächenstellung des Ventils schnell sinken und in der Nähe des vollen Luftdruckes ihr Zeichen ändern.

15. Die letzte Spirale an dem eben benutzten Apparate wurde mit einer ebenen Spirale von 31 Windungen und 53 Fufs Drahtlänge verbunden, dieser eine gleiche Spirale (Nebenspirale 4ter Ordnung) in 1 Linie Entfernung normal nahegestellt und die Nebenspirale durch die Galva-

nometerrolle und das Ventil geschlossen. Die Ablenkungen, mit Ausnahme der eingeklammerten, wurden wie bisher durch Entladung der Menge 10 aus 3 Flaschen erhalten.

Magnetische Ablenkung durch den Strom vierter Ordnung, bei

| Luftdruck im Zoll | Ventile Linien | Spitzenstellung des Ventils | Flächenstellung des Ventils |
|---|---|---|---|
| | $1\frac{3}{4}$ | — 23 Scth. | + 23 |
| | 5 | — 21 | + 22 |
| 1 | | — 18 | + 18 |
| 2 | | — 14 | + 16 |
| 4 | | — 8 | + 14,5 |
| 8 | | — 6 | + 13,5 |
| 12 | | — 2 | + 11 |
| 16 | | + 1 | + 10,5 |
| 20 | | + 6 ,5 | + 9 |
| 24 | | (+ 6) | (+ 14) |
| 28 | $1\frac{1}{2}$ | (+ 10) | (+ 16) |

Bei dem Luftdrucke von 24 und 28 Zoll mufste die Elektricitätsmenge 12 zur Ladung der Batterie gebraucht werden, weil sonst der Strom nicht durch das Ventil ging. Bei dem Strome vierter Ordnung ist es wieder, wie bei dem Strome zweiter Ordnung, die Flächenstellung des Ventils, welche die langsam abnehmenden, durchweg gleichgerichteten, Ablenkungen liefert.

16. Um den Strom fünfter Ordnung zu erhalten, wurde die letzte der gebrauchten Spiralen mit einer cylindrischen Spirale von 52 Fufs Drahtlänge verbunden, zwischen deren 32 Windungen, 1 Linie von ihnen entfernt, eine gleiche Spirale gewunden war, welche die Nebenspirale 5ter Ordnung bildete. Mit dieser wurden Galvanometerrolle und Ventil verbunden. Die Batterie mufste hier stärker als früher, nämlich mit der Menge 15 geladen werden.

Magnetische Ablenkung durch den Strom fünfter Ordnung, bei

| Luftdruck im Ventile | | Spitzenstellung | Flächenstellung |
|---|---|---|---|
| Zoll | Linien | des Ventils | |
| | 1¾ | — 22 Scth. | + 23 |
| | 5 | — 22 | + 22 |
| 1 | | — 20 | + 16 |
| 2 | | — 15,5 | + 13,5 |
| 4 | | — 16 | + 10,5 |
| 8 | | — 13 | + 5,5 |
| 12 | | — 11 | + 3,5 |
| 16 | | — 12 | 0 |
| 20 | | — 12 | — 5,5 |
| 24 | | — 15 | — 7,5 |
| 28 | 1 | — 14,5 | — 6 |

Bei dem Drucke von 16 Zoll und Flächenstellung des Ventils wurde keine Ablenkung erhalten, obgleich der Strom mit einem hellen Funken durch das Ventil ging. Der Strom fünfter Ordnung entspricht in dem Verlaufe der durch ihn bewirkten Ablenkungen ganz dem Strome dritter Ordnung; bei beiden ist es die Spitzenstellung des Ventils, welche die langsame Abnahme gleichgerichteter Ablenkungen zur Folge hat.

17. Giebt man diesen Versuchen, wie es wol erlaubt ist, allgemeine Geltung, so folgt aus ihnen der Satz: *Bei Flächenstellung des Ventils und successiver Zunahme des Luftdrucks darin tritt die langsame Abnahme gleichgerichteter Ablenkungen ein bei den Strömen gerader Ordnung, eine schnelle Abnahme und Wechsel der Richtung bei den Strömen ungerader Ordnung.*

Bei der Spitzenstellung des Ventils gilt der Satz nach Vertauschung der beiderartigen Ströme.

Mit Hülfe dieser beiden Sätze kann über einen vorhandenen Nebenstrom, bei Kenntnifs seiner Lage gegen den Hauptstrom, leicht entschieden werden, ob er von gerader oder ungerader Ordnung ist. Am sichersten geschieht die Entscheidung durch Beobachtung der Abnahme auf einan-

der folgender Ablenkungen, wenn der Luftdruck im Ventile von 4 bis 16 Zoll geändert wird. Bequemer scheint dazu die Benutzung des Ventils mit vollem Luftdrucke und das Aufsuchen der Stellung desselben, bei welcher eine der Regel widersprechende Richtung der Ablenkung eintritt. Geschieht Diefs bei der Flächenstellung, so liegt ein Strom ungerader Ordnung vor, und ein Strom gerader Ordnung wenn es bei der Spitzenstellung geschieht. Aber die Richtung der Ablenkung bei vollem Luftdrucke im Ventile ist nicht so constant, als dafs man die Entscheidung ohne öftere Wiederholung des Versuches treffen könnte.

18. Der Name elektrisches Ventil deutet auf die Eigenheit des Instruments, bei gehöriger Verdünnung der Luft darin, von den beiden Theilen des Nebenstromes der Batterie nur den Theil zu Stande kommen zu lassen, der seinen Lauf von der Scheibe zur Spitze des Ventils nimmt. Ob Diefs auch bei einem gröfsern Complexe entgegengerichteter Ströme geschehen würde, mufste der Versuch entscheiden, und es war von vornherein nicht zu bestimmen, dafs das Ventil dieselbe Eigenheit auch bei den Strömen höherer Ordnung beibehalten werde. Die Dichtigkeit, und daher der Ursprung der zu sondernden Ströme ist auf die Wirkung des Ventils von gröfstem Einflufs, wie der schroffe Gegensatz zeigt, in dem der Gaugain'sche Versuch zu allen Versuchen dieser Abhandlung steht. In diesem bekannten Versuche wird nämlich die Magnetnadel durch den Oeffnungsstrom des Inductorium nur dann abgelenkt, oder doch bei Weitem am stärksten abgelenkt, wenn der Strom zuerst die Spitze des Ventils trifft. Die Ablenkung erfolgt also im Sinne eines Stromes, der von der Spitze zur Fläche des Ventils geht.

Ich habe diese Ausnahme von der an der leydener Batterie gewonnenen Regel auch deshalb nicht unerwähnt lassen wollen, weil mir das Ventil, mit den hier niedergelegten Erfahrungen, geeignet scheint, uns über den vielbenutzten Strom des Inductorium, den verwickeltsten aller elektrischen Ströme, einige Aufklärung zu verschaffen.

### Magnetische Ablenkung durch den Nebenstrom im Schliefsungsdrahte der Batterie.

19. Es ist oben (11) bemerkt worden, dafs im Schliefsungsdrahte der Batterie, wenn er nicht durch grofse Länge oder eine besondere Einrichtung die Bildung des Nebenstromes begünstigt, wesentlich der Hauptstrom die Ablenkung der Magnetnadel bewirkt. Eine jener Einrichtungen ist die Anlegung eines Zweiges an den Schliefsungsdraht, weil alsdann der in jedem Zweige erregte Nebenstrom durch den andern Zweig ablaufen kann. Sind die Zweige an Länge oder Form von einander verschieden, so kommt in ihnen ein Nebenstrom zu Stande, durch den man, wenn er bei Unterbrechung der Leitung auf die Magnetnadel wirkt, eine gröfsere Ablenkung hervorzubringen vermag, als die durch den Hauptstrom bewirkte. Buff hat Diefs zuerst am Conductor der Elektrisirmaschine nachgewiesen, von welchem er anhaltend Funken auf eine nahestehende Kugel schlagen liefs. Von der Kugel führte ein Draht, in welchem sich eine durch zwei kleine Kugeln gebildete Lücke von $\frac{1}{2}$ Millimeter Weite befand, zu der Drahtrolle eines Multiplicators mit Doppelnadel. Die Rolle hatte, was hier wesentlich ist, eine geringe Drahtlänge und nur 30 Windungen; ihr freies Ende war mit dem Reibzeuge der Maschine verbunden. Es wurden einige Ablenkungen am Multiplicator beobachtet und darauf diese Beobachtungen wiederholt, nachdem an zwei Punkten der Leitung, zwischen welchen die Lücke und der Multiplicator lag, ein Drahtzweig angelegt war, zu dem eine cylindrische Spirale von 138 Windungen und 4 Meter Drahtlänge gehörte. Bei verschiedener Länge der vom Conductor überschlagenden Funken wurden folgende Ablenkungen erhalten [1]).

| Funkenlänge | Ablenkung am Multiplicator | |
|---|---|---|
| Millimeter | Ohne Zweig | Mit Zweig |
| 25 | + 2,5 Grad | — 12 |
| 28 | + 2 | — 28 |
| 30 | + 2 | — 26 |

1) Ann. d Chemie und Pharm*. 86, 311 (1853).

Man sieht hier den Hauptstrom die Nadeln um 2 Grad ablenken und den Nebenstrom, der durch einen Theil jenes Stromes in der Spirale erregt wurde, eine viel grössere, im zweiten Versuche die 14fache Ablenkung hervorbringen. Die entgegengesetzten Zeichen der Ablenkung lehren, dafs es der dem Hauptstrome gleichgerichtete Nebenstrom war, welcher den durch die Zweige gebildeten Kreis und die darin angebrachte Lücke durchlief. Diefs Ergebnifs ist an dem einfachsten Apparate, durch die Verschiedenheit der Zweige und die Unterbrechung in freier Luft des einen Zweiges erhalten worden.

20. Mit Anwendung des elektrischen Ventils erhält man am Schliefsungsdrahte der Batterie, und zwar bei gleichen wie ungleichen Zweigen, eine überraschende Wirkung des Nebenstromes in einem Versuche, den Feddersen angegeben hat, aber mit gänzlicher Umgehung des Nebenstroms deuten will [1]). Folgende ist eine Wiederholung des interessanten Versuchs. An dem Wiedemann'schen Galvanometer wurden beide Drahtrollen aufgesetzt, so dafs der magnetisirte Spiegel sich zwischen ihnen befand. Die Rollen waren durch zwei Drähte an entgegengesetzten Enden mit einander verbunden: die Mitte des einen Verbindungsdrahtes stand mit dem Theile der Schliefsung, der zur innern Belegung der Batterie führte, die Mitte des andern mit der äufsern Belegung in Verbindung. Der Schliefsungsdraht der Batterie theilte sich also in zwei völlig gleiche Zweige, welche den Stahlspiegel einschlossen, und zu jedem Zweige gehörte eine Drahtrolle. Da nun der Entladungsstrom nach seiner Theilung die Rollen in entgegengesetzter Richtung durchlief, so konnte der Spiegel nur die Differenz der Ablenkungen zeigen, die ihm die Rollen einzeln

1) Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. 1861. Pogg. Ann.* Bd. 115, S. 336. Nach der Bemerkung am Schlusse des Aufsatzes zu urtheilen, sieht Feddersen in seinem Versuche den entscheidenden Beweis für die Annahme, dafs der Entladungsstrom im Schliefsungsdrahte zu öfteren Malen hin- und zurückfliefse. Wirklich ist es der auffallendste Versuch, der zur Stütze dieser Annahme angestellt worden ist.

ertheilt haben würden. Es war leicht, die Entfernung der Rollen vom Spiegel so zu reguliren, dafs keine Ablenkung eintrat, als die Elektricitätsmenge 6 aus 3 Flaschen durch den Bogen entladen wurde. Darauf wurde in jeden Zweig ein Ventil eingeschaltet, nahe der Stelle, wo der Entladungsstrom eintrat, und den Ventilen gegen diesen Strom die entgegengesetzte Stellung gegeben. Die Luft in den Ventilen hatte 2 Linien Quecksilberdruck. Die Entladung der genannten Menge aus der Batterie brachte nun eine Ablenkung des Spiegels hervor (nach steigenden Zahlen der Galvanometerscale) von + 136 Scth. und, als jedes Ventil in seinem Zweige umgekehrt war, von — 128 Scth.

Die starken Ablenkungen nach entgegengesetzter Richtung rühren von den beiden Nebenströmen her, die in den Rollen der Zweige erregt und durch die Stellung der Ventile so gerichtet werden, dafs sie sich bei der Ablenkung des Spiegels unterstützen. Da nämlich die Ventile gegen den zwischen ihnen eintretenden Hauptstrom in entgegengesetzte Stellung gebracht sind, so befinden sie sich in gleicher Stellung gegen einen Strom, der in einem Zweige erregt ist und beide Zweige durchläuft. In der einen Rolle kommt der dem Hauptstrome gleichgerichtete, in der andern der ihm entgegenlaufende Nebenstrom zu Stande, und beide Ströme müssen den Spiegel nach derselben Seite ablenken. Man braucht nur ein Schema des Apparats zu entwerfen und die Regel anzuwenden, dafs ein Nebenstrom stets im Sinne eines Stromes ablenkt, der von der Fläche zur Spitze des Ventils geht, um in jedem Versuche die Richtung der Ablenkung vorauszusagen.

21. Uebersichtlicher wird der Versuch in folgender vereinfachten Form. Ich verband durch zwei, einige Fufs lange Drähte die gleichgelegenen Enden der Galvanometerrollen, und sodann die Mitte jedes Verbindungsdrahtes mit einer der beiden Belegungen der Batterie. Es blieb nur die Rolle des einen Zweiges in der Nähe des Spiegels und die des andern wurde von ihm so weit entfernt, dafs auch ein starker Entladungsstrom durch sie gehen konnte, ohne

den Spiegel zu bewegen. Bei schiefer Stellung der Rollenwindungen gegen die Ebene des Spiegels war dazu eine Entfernung von 19 Zoll mehr als hinreichend.

Es wurde die in (20) gebrauchte Ladung (Elektricitätsmenge 6 in 3 Flaschen) zuerst durch den ganz metallischen Schliefsungsbogen geschickt und in 3 Versuchen die Ablenkung beobachtet. Dann wurden die Beobachtungen wiederholt, nachdem in jedem Zweige ein Ventil angebracht (Luftdruck darin 1¾ Lin.) und beiden Ventilen gegen den Entladungsstrom die entgegengesetzte Stellung gegeben war. In der folgenden Tafel ist nur die Stellung des Ventils in dem Zweige angegeben, der auf den Spiegel wirkt, woraus sich die Stellung des Ventils im entfernten Zweige ergiebt.

| Magnetische Ablenkung durch einen Zweig d. Schliefsungsbogens, bei ganz metallischer Schliefsung | Spitzenstellung des Ventils im Zweige | Flächenstellung des Ventils im Zweige |
|---|---|---|
| + 3,8 Scalentheile | — 75 | + 95 |
| + 4,0 | — 80 | + 93 |
| + 4,0 | — 82 | + 92 |

In der ganz metallischen Schliefsung rührt die Ablenkung allein vom ungestörten Hauptstrome her, weil der in der einen Drahtrolle erregte Nebenstrom von dem ihm gleichen aber entgegengerichteten Nebenstrome der andern Rolle aufgehoben wird. Nach Einschaltung der Ventile kommt von jedem Nebenstrome nur ein Theil zu Stande, und da beide Theilströme gleichgerichtet sind, so ist ihnen die Ablenkung in bei Weitem überwiegenden Maafse zuzuschreiben. Die Richtung dieser Ablenkung ist der vielfach aufgezeigten Regel des Nebenstromes gemäfs, und die Gröfse derselben im Vergleich mit der Ablenkung durch den Hauptstrom (sie erreicht hier das 23fache) kann nicht im Geringsten auffallen. Als (5) der Nebenstrom in einer ebenen Spirale von 14 Umgängen und 13 Fufs Drahtlänge aus der Entfernung von 1 Linie erregt war, betrug die Ablenkung durch den Nebenstrom schon das Vierfache der durch den Hauptstrom bewirkten Ablenkung; hier wird

der Nebenstrom im Innern selbst zweier cylindrischen Spiralen erregt, von welchen jede 40 Windungen bei 30 Fufs Drahtlänge besitzt. Bei der Spitzenstellung des Ventils im ablenkenden Zweige kommt in der Rolle desselben der dem Hauptstrome entgegengerichtete Nebenstrom zu Stande und läuft durch den andern Zweig; in diesem entsteht der dem Hauptstrome gleichgerichtete Strom, der durch den ersten Zweig geht und die durch ihn bewirkte Ablenkung verstärkt. Die schematische Zeichnung des Apparats bei diesem Versuche ist Taf. VI Fig. 3 gegeben. Mit *s* ist der Spiegel, mit *r* sind die Drahtrollen, mit *v* die Ventile bezeichnet. Bei Flächenstellung des Ventils im ablenkenden Zweige sind die beiden in den Rollen entstehenden Nebenströme entgegengesetzter Art und Richtung. Der Nebenstrom jeder Drahtrolle hat zwei, gegen ihn gleichliegende Ventile zu durchlaufen, dafs aber dadurch die Gröfse der Ablenkung nicht vermindert wird, ist in (7) gezeigt worden.

22. Die magnetische Ablenkung wird in diesen Versuchen durch einen Strom bewirkt, der aus zwei Elektricitätsquellen, den beiden Galvanometerrollen, entspringt. Schafft man die eine Quelle fort, so mufs eine geringere Ablenkung eintreten. Die vom Spiegel entfernte Rolle wurde aus ihrem Zweige fortgelassen, und ihre Stelle durch einen 19 Linien langen 0,119 Linie dicken Platindraht ausgefüllt. Mit dieser Veränderung wurden die Versuche wiederholt. Die Ablenkung durch die ganz metallische Schliefsung zeigt, dafs dieselbe Theilung des Entladungstromes in den Zweigen stattfand, wie bei Anwesenheit der Rolle.

Magnetische Ablenkung durch einen Zweig des Schliefsungsbogens, bei

| ganz metallischer Schliefsung | Spitzenstellung des Ventils im Zweige | Flächenstellung des Ventils im Zweige |
|---|---|---|
| + 4,0 Scth. | — 19 | + 42 |
| + 4,0 | — 18 | + 40 |
| + 4,0 | — 18 | + 41 |

In den Zweigen der ganz metallischen Schliefsung, von welchen der eine Zweig die gröfsere Länge und die Spi-

ralform hat, kam zwar ein Nebenstrom zu Stande, konnte aber Nichts zur Ablenkung beitragen, weil er einen geschlossenen Kreis durchlief. Die Ablenkung durch den Nebenstrom bei Flächenstellung des Ventils beträgt nur das Zehnfache der durch den Hauptstrom bewirkten, ist also ganz der Erwartung entsprechend, die Ablenkung bei der Spitzenstellung ist dagegen bedeutend kleiner. Zugleich traf es sich nicht selten (in der mitgetheilten Reihe bei dem Versuche einer vierten Beobachtung) dafs bei der Spitzenstellung des Ventils keine Ablenkung eintrat, und der Hauptstrom gröfstentheils durch den vom Spiegel entfernten Zweig überging. Diefs ist eine Folge davon, dafs bei dieser Stellung der Ventile der dem Hauptstrome entgegengerichtete Nebenstrom entstand, der bei seiner geringen Dichtigkeit niemals in ganzer Stärke durch die Ventile ging, während in (21) sein vollständiger Uebergang dadurch gesichert war, dafs er durch den dem Hauptstrome gleichgerichteten Nebenstrom der zweiten Rolle unterstützt wurde, der eine gröfsere Dichtigkeit, als er, besitzt. Ging der Nebenstrom schon nach den ersten Partialentladungen der Batterie nicht durch die Ventile, so gingen alle folgenden Partialentladungen allein von Fläche zu Spitze des im entfernten Zweige befindlichen Ventils.

Bei der vollkommenen Uebereinstimmung mit den Gesetzen der Ablenkung durch den Nebenstrom, zeigen die Versuche in (21) und (22) das Auftreten des Nebenstromes in der Hauptschliefsung der leydener Batterie nicht minder deutlich, als meine früheren Versuche über die Erwärmung der Zweige [1]).

1) Monatsberichte 1859, S. 6. Pogg. Ann. Bd. 106, S. 207.

## II. *Der Satz von Thomson in Bezug auf die Wirkung der Elektromagnete und Folgerungen aus demselben; von Julius Dub.*

In der Einleitung zu seiner Abhandlung über den remanenten Magnetismus sagt Joule[1]: »Die werthvollen Untersuchungen, welche neuerdings von Weber, Robinson, Müller, Dub u. A. angestellt sind, beziehen sich hauptsächlich auf die Anziehung des Ankers und sind nicht geeignet einen der obigen Sätze (hinsichtlich der Stromstärke und der Drahtlänge der Spirale) zu bestätigen oder zu widerlegen; und die richtige Ansicht ist wahrscheinlich die (Joule brieflich mitgetheilte) des Hrn. Prof. Thomson, der sie beide nur als untergeordnete Sätze des allgemeinen Gesetzes ansieht, »*dafs ähnliche Stangen von verschiedenen Dimensionen, auf ähnliche Weise mit Drahtgewinden umwickelt, deren Längen den Quadraten ihrer linearen Dimensionen proportional und von gleichen Strömen durchflossen sind, eine gleiche Kraft auf ähnlich liegende Punkte hervorbringen.*«

Ich hatte diesen Satz so allgemein aufgefafst, wie er nach der hier gegebenen Darstellungsweise genommen werden kann, dafs nämlich auch ähnlich liegende Punkte *in* den ähnlichen Stangen gemeint wären[2]) und deshalb die Richtigkeit des Satzes bestritten. Denkt man dagegen nur an ähnlich liegende Punkte aufserhalb der Stäbe, also etwa in einer Magnetnadel, so ist der Satz vollkommen richtig, wie wir sogleich sehen werden.

Hr. Wiedemann hat zuerst die Uebereinstimmung dieses Satzes mit den von mir über die Form der Magnet-

1) *Proc. of Roy. Soc. T. VII. p.* 488 bis 490; *Phil. Mag.* (4) *XI.* 77 bis 79; *Phil. Trans.* 1856 *p.* 287 bis 295; Berl. Ber. 1855 p. 504; Dub Elektrom. S. 309.

2) Dub, Elektromagnetismus S. 310.

kerne aufgestellten Sätzen hervorgehoben, sagt aber dabei[1]): »Diese Uebereinstimmung der Sätze von Dub mit dem von Thomson ist indefs noch kein Beweis für die allgemeine Gültigkeit der ersteren, denn abgesehen vom Eintreten der Sättigung, mufs Thomson's Satz auch unter anderen Bedingungen der Magnetisirung eines Stabes durch eine Magnetisirungsspirale gelten. Da nach diesem Satze der Stab von *n*facher Masse an allen seinen einzelnen Stellen gleichen magnetisirenden Kräften unterworfen ist, wie die entsprechenden Stellen des ihm ähnlichen Stabes von einfachen Dimensionen, so mufs, welches auch sonst die Art der Magnetisirung sey, in allen Fällen die Zahl der in gleichem mittleren magnetischen Zustande befindlichen ähnlich liegenden Theilchen der Stäbe sich wie ihre Massen verhalten, und ebenso müssen sich auch die magnetischen Momente der Stäbe verhalten.«

### I. Der Beweis des Satzes von Thomson.

An einer anderen Stelle sagt Hr. Wiedemann ferner über den Satz von Thomson[2]) »Der einzige Satz, welcher bei der ungleich starken Einwirkung elektromagnetisirender Kräfte auf die einzelnen Theile beliebig gestalteter, z. B. gerader Eisenstäbe *a priori* eine allgemeinere rationelle Gültigkeit bewahrt, ist bisher der von Thomson aufgestellte.«

Wenn ich nun nicht irre, so glaubt Hr. Wiedemann in dem zuerst gegebenen Citat diesen Beweis *a priori* für den Satz von Thomson geliefert zu haben; allein ich kann diese Meinung nicht theilen. Hr. Wiedemann sagt daselbst: »Da nach diesem Satze der Stab von *n*facher Masse an allen seinen einzelnen Stellen *gleichen* magnetisirenden Kräften unterworfen ist, wie die entsprechenden Stellen des ihm ähnlichen Stabes von einfachen Dimensionen, so usw.«

Von einem Stabe von *n*facher Masse, den wir lieber von *n*fachen Dimensionen und also von $n^3$facher Masse

1) Wiedemann Elektrom. S. 349.

2) Pogg. Ann. Bd. 117. S. 240.

nennen wollen, kann man weder behaupten, dafs er in allen seinen einzelnen Stellen gleichen magnetisirenden Kräften unterworfen ist, wie die entsprechenden Stellen des einfachen Stabes, noch kann man sagen (was Hr. Wiedemann wohl meint), alle einzelnen Theilchen hätten dieselbe magnetische Intensität, wie die entsprechenden Theilchen des einfachen Stabes. Wäre diefs der Fall, so müfste die Wirkung auf einen *ähnlich liegenden* Punkt aufserhalb des Stabes die $n$fache von der des einfachen Stabes seyn. Denn wegen der $n$fachen Entfernung würde die Wirkung *jedes einzelnen Punktes* das $\frac{1}{n^2}$fache und wegen der $n^3$fachen Masse das $n^3 \cdot \frac{1}{n^2}$ fache also das $n$fache von der des einfachen Stabes seyn.

Da nun aber nach Thomson's Satz die auf einen ähnlich liegenden Punkt ausgeübte Kraft nicht das $n$fache, sondern das *ein*fache von der des einfachen Stabes ist, so mufs der Magnetismus *jedes einzelnen Punktes* des Stabes von $n$fachen Dimensionen $\frac{1}{n}$ von dem jedes Punktes des einfachen Stabes seyn. *Alle ähnlich liegenden Stellen sind also weder gleichen magnetisirenden Kräften unterworfen, noch haben sie gleiche magnetische Intensität, wie die entsprechenden Stellen des einfachen Stabes.*

Hr. Wiedemann befindet sich also im Irrthume, wenn er durch die obige Deduction einen Beweis *a priori* des Satzes von Thomson gegeben zu haben meint. Ich mufs ganz entschieden an der Möglichkeit eines solchen Beweises zweifeln, weil sich eben *a priori* die Intensität der einzelnen Theilchen nicht herleiten läfst.

Nimmt man dagegen die bis jetzt bekannten Sätze über den Elektromagnetismus als richtig an, so folgt aus denselben Thomson's Satz; besonders sind es die beiden von mir nachgewiesenen Sätze in Bezug auf die Länge und den Durchmesser der Magnetkerne, aus denen dieser Satz sich als *specieller Fall* ergiebt.

1. *Der Magnetismus eines Elektromagneten ist der Anzahl der ihn bedeckenden Spiralwindungen proportional.*

2. *Der Magnetismus verschieden langer Elektromagnete wächst wegen der Vermehrung der Massentheilchen des Eisens* (d. h. bei gleichem Polabstande) *der Quadratwurzel ihrer Länge proportional, wenn auf ihnen dieselbe magnetisirende Kraft proportional vertheilt ist.*

3. *Der Magnetismus verschieden dicker Elektromagnete ist caeteris paribus der Quadratwurzel ihrer Durchmesser proportional.*

Diefs sind die Sätze, aus denen man den Satz Thomson's herzuleiten im Stande ist. Bedenkt man, dafs ein einem anderen ähnliches Drahtgewinde von $n$fachen Dimensionen $n$fache Weite und $n$fache Windungszahl haben und eben deshalb $n^2$fache Drahtlänge besitzen mufs, so kann man Thomson's Satz auch kürzer so aussprechen:

*Stangen von $n$fachen Dimensionen mit $n$facher Windungszahl ähnlich bewickelt üben auf $n$fache Entfernungen gleiche Kraft aus.*

Um zu diesem Satze zu gelangen hat man hinsichtlich der drei genannten Sätze Folgendes zu erwägen.

1. Die Menge der Theilchen eines Eisenkernes von $n$fachem *Durchmesser* ist bei gleicher Länge die $n^2$fache von der eines Kernes von einfachem Durchmesser. Da nun aber wegen des $n$fachen Durchmessers eines Magnetkernes *caeteris paribus* der freie Magnetismus desselben nur in dem Verhältnifs von $1 : \sqrt{n}$ steigt, und wir die Vertheilung des Magnetismus in dickeren Stäben analog der in dünneren annehmen können; so mufs die magnetische Intensität *jedes einzelnen Theilchens* wegen der zunehmenden Dicke in dem $n$mal so dicken Stabe nur die $\frac{\sqrt{n}}{n^2}$fache von der in den einzelnen Theilen des Kernes von der einfachen Dicke seyn.

2. Durch die $n$fache Länge eines Stabes wird die Menge der Theilchen die $n$fache von der des Stabes von der einfachen Länge. Nun wächst aber nach dem zweiten Satze

der freie Magnetismus wegen der Vermehrung der Eisenmasse durch die Länge nur im Verhältnifs von $1 : \sqrt{n}$, folglich ist bei $n$facher Länge die magnetische Intensität *jedes einzelnen Theilchens* nur die $\frac{\sqrt{n}}{n}$ fache von der der Theilchen der einfachen Länge.

3. Wegen der $n$fachen Windungszahl der galvanischen Spirale steigt der Magnetismus *caeteris paribus* im Verhältnifs von $1 : n$, es mufs also aus diesem Grunde der Magnetismus *jedes einzelnen Theilchens* der $n$fache werden.

4. Wegen der $n$fachen Entfernung von dem Punkte, auf den der Magnet seine Kraft ausübt, ist die Wirkung *jedes einzelnen Theilchens* das $\frac{1}{n^2}$ fache von der der Theilchen des einfachen Magneten.

Vergleichen wir nun die Wirkung zweier *ähnlichen* und *ähnlich liegenden* Theilchen, deren Gröfsen sich wie $1 : n^3$ verhalten, so verhalten sich die Wirkungen

1) wegen der $n$fachen Dicke wie $1 : \frac{\sqrt{n}}{n^2}$,

2) wegen der $n$fachen Länge wie $1 : \frac{\sqrt{n}}{n}$,

3) wegen der $n$fachen Windungszahl wie $1 : n$,

4) wegen der $n$fachen Entfernung wie $1 : \frac{1}{n^2}$,

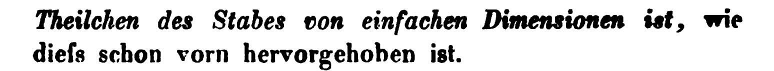
5) wegen der $n^3$ fachen Masse wie $1 : n^3$; d. h.

die Wirkungen ähnlich liegender Theilchen, mithin die Wirkungen der ganzen Stäbe, auf ähnlich liegende Punkte verhalten sich wie

$$1 : \frac{\sqrt{n}}{n^2} \cdot \frac{\sqrt{n}}{n} \cdot n \cdot \frac{1}{n^2} \cdot n^3, \text{ oder wie } 1 : 1.$$

Wir sehen also, dafs die vorn genannten drei Sätze den Satz Thomson's als einen speciellen Fall einschliefsen.

Zugleich folgt aus den unter 1, 2 und 3 angeführten Punkten, welche die magnetische Intensität der einzelnen Theilchen feststellen, *dafs diese* $\frac{1}{n}$ *von der der einzelnen*





*Theilchen des Stabes von einfachen Dimensionen ist*, wie diefs schon vorn hervorgehoben ist.

---

Nimmt man nun andrerseits den Satz von **Thomson** als feststehend an, so werden durch ihn Fingerzeige für einen neuen Weg geboten, auf welchem die vorn genannten drei Sätze experimentell zu veranschaulichen seyen. Da dieser Weg ein Mittel zur sicheren Begründung der Sätze ist, so habe ich denselben in der hier nachstehenden Weise verfolgt.

### II. Experimenteller Nachweis des Satzes von Thomson.

Der eben gegebene Beweis des Satzes von **Thomson** hat natürlich nur in sofern Kraft, als man die Sätze zugiebt, auf die er sich gründet. Wenn ich daher die Sache umzukehren beabsichtige, wenn ich aus dem Satze **Thomson's** die von mir behaupteten beiden Sätze über die Dimensionen des Magnetkernes herleiten will, so bedarf natürlich jener Satz zunächst einer anderen Begründung. Wie schon vorn bemerkt, ziehe ich in Zweifel, dafs hierzu ein anderer Weg als das Experiment offen steht. Dieser experimentelle Beweis wird um so mehr für jeden Physiker von Interesse seyn, als, so viel ich weifs, keine Experimente in dieser Richtung veröffentlicht sind.

#### *A.* Die Mefsmethoden.

Bevor ich zur Mittheilung der durch die Messungen erhaltenen Resultate schreite, mufs ich noch der Methoden erwähnen, deren ich mich bei der Messung bediente. Ich habe sowohl bei der Prüfung des **Thomson**'schen Satzes, als auch bei allen hier folgenden Untersuchungen, deren zwei in Anwendung gebracht. Dieselben unterscheiden sich dadurch, dafs in dem einen Falle eine mit Zeiger versehene kurze Magnetnadel direct, in dem anderen Falle die Ablenkung eines magnetisirten Stahlspiegels durch das Fernrohr beobachtet wurde.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dafs bei sorgfäl-

tigem Verfahren beide Wege zu demselben Ziele führten, allein die erhaltenen Resultate erlangten dadurch, wie wir später noch besser erkennen werden, gröfsere Zuverlässigkeit, weil in den beiden verschiedenen Fällen die Entfernungen sehr verschieden seyn mufsten, aus denen die Magnete auf das Mefsinstrument wirkten. Durch die beiden Methoden wird zunächst klar, dafs durch die verschiedenen Entfernungen die hier folgenden Gesetze nicht beeinträchtigt werden, wenn diese Entfernungen nur so bedeutend bleiben, dafs die Gröfse der Nadel gegen die Entfernung von den Magneten als verschwindend betrachtet werden kann.

### 1. Messung mit der einfachen Nadel.

Die Messungen, mittelst deren ich die früher von mir aufgestellten Sätze gefunden hatte, waren mit einer 1" langen Magnetnadel unternommen, die in einem Glasgehäuse eingeschlossen und an einem 12" langen Coconfaden aufgehängt war. Die Nadel war auf einem 8" langen Kupferzeiger befestigt, dessen Spitze sich über einem getheilten Kreise bewegte.

Um nun zunächst zu sehen, ob nicht etwa die Länge der angewandten einzölligen Nadel für die vorliegenden Messungen zu grofs sey, vertauschte ich nach einigen Messungen diese Nadel zunächst mit einer $\frac{1}{2}$" langen. Die Ablenkungswinkel wurden dadurch nicht geringer, weil ja der Erdmagnetismus in demselben Verhältnifs wie der ablenkende Magnet wirkungsloser wurde; allein die Beobachtung ward durch die Anwendung dieser Nadel, deren Zeiger zufällig gröfseres Gewicht hatte, als der der früher verwandten, bedeutend erschwert. Durch den im Verhältnifs zur Nadel schweren Zeiger geräth dieselbe bei jedem Versuche in weit ausgreifende langsame Schwingungen, und man ist daher gezwungen, lange zu warten, ehe man die Ablesung vornehmen kann.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, befestigte ich eine

$\frac{5}{16}''$ lange Magnetnadel auf einem aus einer Glasröhre ausgezogenen, federleichten Glaszeiger, und brachte diefs System an die Stelle des früheren. Nun zeigte sich die ganz entgegengesetzte Erscheinung, die aber keineswegs vortheilhaft war. Eine Nadel dieser Art macht *garkeine Schwingungen.* Wegen des Luftwiderstandes weicht dieselbe ganz langsam ab und bewegt sich, ihren Gang immer mehr verlangsamend, allmählich nach dem der ablenkenden Kraft des Magneten entsprechenden Theilstriche. Auf den ersten Blick erschien diefs vortheilhaft, allein ich ward sehr überrascht, als ich mit dieser Nadel anfänglich ganz andere Resultate als mit der früheren erhielt. Sehr bald stellte sich jedoch heraus, dafs diese ersten Beobachtungen deshalb fehlerhaft geworden waren, weil die Bewegung der Nadel vor dem Stillstande so langsam wurde, dafs ich diese Bewegung, etwa wie bei dem Zeiger einer Uhr, nicht mehr bemerkt und die momentane Stellung für Stillstand angesehen hatte. Ich war bei Anwendung dieses Zeigers gezwungen noch länger auf die Ablesung zu warten, als bei dem weit ausschwingenden, wenn ich nicht fehlerhafte Beobachtungsresultate erhalten wollte. Es ist daher durchaus nicht rathsam, sich eines solchen Zeigers für die Nadel zu bedienen, weil neben den gleich grofsen Pausen, innerhalb deren eine Beobachtung vorgenommen werden kann, ein solches System noch den Uebelstand hat, dafs ein blofser Hinblick auf das Instrument nicht lehrt, ob die Bewegung beendigt ist oder nicht, während die pendelnden Schwingungen des Metallzeigers diefs doch deutlich anzeigen.

Ich schliefse diese Darstellung mit der Bemerkung, dafs ich trotz der Langsamkeit der Beobachtungen alle hier später erwähnten Sätze auch mit der eben besprochenen Nadel untersucht und mit den durch den Spiegel erhaltenen Resultaten in Uebereinstimmung gefunden habe. Um die Mittheilung nicht unnützer Weise zu verlängern, werde ich diese Resultate in dem Folgenden nicht alle wiedergeben, sondern nur einige beispielsweise mit anführen.

2. Beobachtungen mittelst des Fernrohrs.

Aufser der directen Beobachtung an der Magnetnadel, wurden die Messungen auch mit dem von W. Weber in Vorschlag gebrachten und auch von Wiedemann angewandten Stahlspiegel gemacht, welcher Behufs der Dämpfung seiner Beweglichkeit in einer dicken Kupferhülse schwingt. Die Ablenkung des magnetisirten Stahlspiegels wurde durch ein Fernrohr beobachtet, unter welchem eine Scala angebracht war, die sich in dem Stahlspiegel abspiegelte und so die Gröfse des Ausschlages erkennen liefs. Die Scala ist in Millimeter getheilt, und man liest sehr bequem $\frac{1}{2}^{mm}$ ab, während man noch $\frac{1}{4}^{mm}$ schätzen kann. Kleinere Werthe waren nicht gut zu bestimmen, und wenn in den folgenden Versuchsresultaten andere Bruchtheile vorkommen, so sind dieselben nicht durch directes Ablesen, sondern durch die Berechnung des Mittels aus mehreren Beobachtungen hervorgegangen. Bei den Ablesungen mittelst Fernrohrs wie bei denen mit der einfachen Nadel sind immer mindestens zwei Beobachtungen gemacht, indem die Wirkung des angewandten Magneten durch beide entgegengesetzte Stromesrichtungen hervorgerufen wurde.

Das angewandte Fernrohr stand 7 Fufs von dem Stahlspiegel entfernt. Hinter dem Fernrohr in einer Entfernung von 9 Fufs lagen die Magnete bei den meisten Versuchen.

Der galvanische Strom ging bei den Messungen durch das Fernrohr, wie bei den Versuchen mit der einfachen Nadel, von der Säule durch die Windungen der Magnetspiralen nach einem Vettin'schen Stromwender [1]). Von da führte die durch besponnenen Kupferdraht hergestellte Leitung nach der Tangentenbussole, welche 20 Fufs von den Magneten und 25 Fufs von dem Stahlspiegel entfernt stand, durchlief dann den in der Nähe der Tangentenbussole aufgestellten Rheostaten und ging von dort zur Säule zurück.

1) Dub, Elektromagnetismus S. 475.

3. Wirkung eines Magneten auf verschiedene Entfernung.

Ich habe bereits bemerkt, dafs bei der Messung mittelst des Stahlspiegels die Entfernung der Magnete von dem Spiegel 9 Fufs betrug. Hätte ich bei den Entfernungen, welche als das Minimum für kleine Magnete sich herausstellten, die Entfernung vom Spiegel im Verhältnifs der Dimensionen der Magnete wollen wachsen lassen, so würden die mir zu Gebot stehenden Räume, in denen ich die Messungen anstellte, nicht ausgereicht haben, besonders würde diefs dann nicht der Fall gewesen seyn, wenn das in der Ostwestrichtung dem Spiegel gegenüber stehende Fernrohr noch hindernd in den Weg tritt. Nachdem ich daher an der Bussole Messungen unter Zunahme der Entfernung der Magnete mit ihren Dimensionen angestellt und das Thomson'sche Gesetz bestätigt gefunden hatte, prüfte ich zunächst ob sich unter den hier gegebenen Bedingungen der Satz bestätigt fände, *dafs die Wirkung der Magnete auf die Nadel der dritten Potenz der Entfernung umgekehrt proportional sey.* Die mit mehreren Magneten angestellten Versuche bestätigten diefs Gesetz vollkommen. Ich will daher hier nur einen Versuch mittheilen, den ich mit einem 4" langen, ½" dicken Magneten angestellt habe. Dieser Magnet wurde bei einer Stromstärke, welche die Nadel meiner Tangentenbussole auf 6° ablenkte, in der Richtung senkrecht auf den magnetischen Meridian so gelegt, dafs *seine Mitte* nach einander 6", 12", 18", 24" und 30" von der Mitte der Nadel entfernt war. Unter dieser Bedingung erhielt ich folgende Reihe, in welcher $\varepsilon$ die Entfernung und $\alpha$ die Nadelablenkung bedeutet:

I.

| $\varepsilon$ | $\alpha$ | $\operatorname{tg}\alpha$ | $\varepsilon^3$ | $\varepsilon^3 \operatorname{tg}\alpha$ |
|---|---|---|---|---|
| 6" | 41° | 0,8693 | 1 | 869 |
| 12" | 6° 10' | 0,108 | 8 | 868 |
| 18" | 1° 50' | 0,032 | 27 | 864 |
| 24" | 45' | 0,01309 | 64 | 838 |
| 30" | 24' | 0,00698 | 125 | 873 |

Berücksichtigt man, dafs bei den beiden letzten Versuchen die Beobachtungsresultate wegen der Kleinheit der Winkel nicht genauer erhalten werden konnten, so wird die Reihe durchaus als Bestätigung des Gesetzes dienen können.

Aufser diesen Versuchen stellte ich nun sogleich die später anzuführenden Versuche mit Magnetformen nach Thomson's Vorschrift an. Dieselben wurden zunächst in die den Dimensionen entsprechenden Entfernungen gebracht und nachher so gelegt, dafs ihre Mitten in gleichem Abstande von der messenden Nadel blieben. In letzterem Falle ergaben sich der Sache gemäfs die dritten Potenzen der entsprechenden Dimensionen, so dafs darnach aufser Zweifel war:

»*Die Kraft, mit der eine Magnetnadel durch einen Elektromagneten abgelenkt wird, ist der dritten Potenz der Entfernung der Mitte dieses Magneten von der Mitte der Nadel umgekehrt proportional.*«

*B.* Specieller Fall des Thomson'schen Satzes.

Die ersten Messungen, welche ich mit ähnlichen Magnetkernen unternahm, wurden so angestellt, dafs die Kerne in der Richtung senkrecht auf den magnetischen Meridian der abzulenkenden Magnetnadel in den entsprechenden Entfernungen gegenüber gelegt wurden. Die Kerne waren dabei ihrer ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedeckt, deren Windungszahl sich im Verhältnifs der Dimensionen vergröfserte. Die Spiralen umschlossen eng die Kerne.

Bei dem ersten Versuche verwandte ich 6 Magnetkerne, deren Länge zwischen 2" und 16" und deren Durchmesser zwischen $\frac{1}{4}$" und 2" variirte. Mittelst dieser Magnete ergaben sich bei den angegebenen Entfernungen folgende Ablenkungen, welche das Mittel aus zwei Beobachtungen sind, die ich anstellte, indem ich den Strom in beiden entgegengesetzten Richtungen durch die Spiralen leitete. Die Wirkung der Spiralen allein ist von den hier gegebenen Mit-

teln abgezogen. $l$ bedeutet die Länge und $d$ den Durchmesser der Magnetkerne, während $\varepsilon$ und $\alpha$ die Bedeutung wie in der Reihe No. I haben. Der angewandte galvanische Strom lenkte die Nadel meiner Tangentenbussole auf 20° ab.

II.

| $\varepsilon$ | $l$ | $d$ | $\alpha$ |
|---|---|---|---|
| 6" | 2" | $\frac{1}{4}$" | $10\frac{1}{4}$° |
| 12" | 4" | $\frac{1}{2}$" | $10\frac{1}{4}$° |
| 18" | 6" | $\frac{3}{4}$" | $10\frac{3}{8}$° |
| 24" | 8" | 1" | $10\frac{1}{8}$° |
| 36" | 12" | $1\frac{1}{2}$" | $10\frac{1}{8}$° |
| 48" | 16" | 2" | $10\frac{1}{2}$° |

Aufser dieser Reihe wurden noch mehrere mit denselben Magneten, aber bei gröfseren oder geringeren Entfernungen von der Magnetnadel und bei verschiedenen Stromesintensitäten ausgeführt. Ich halte es für überflüssig dieselben hier wieder zu geben, weil sie alle denselben Satz durch die Constanz der erhaltenen Werthe feststellten. Alle Reihen zeigten:

»*Aehnliche Eisenstangen mit ähnlichen Spiralen umgeben üben auf ähnlich gelegene magnetische Punkte aufserhalb der Eisenstangen gleiche Kraft aus.*«

Nachdem durch diese Versuche die Constanz der Werthe unter den gegebenen Bedingungen festgestellt war, mufste nach dem Satze, dafs der Magnetismus den dritten Potenzen der Entfernung proportional abnehme, der Magnetismus ähnlicher Elektromagnete den dritten Potenzen der Dimensionen proportional zunehmen, wenn diese Magnete so gelegt wurden, dafs *ihre Mitte* stets in derselben Entfernung von der Magnetnadel blieb.

Wenn sich nun die Mitte der hier verwandten Elektromagnete in einer Entfernung von 2 Fufs von der Mitte der Magnetnadel befand, erhielt ich folgende Reihe, in welcher $d$ den Durchmesser, $l$ die Länge, $n$ das Verhältnifs dieser Werthe und $\alpha$ den Ablenkungswinkel der Magnetnadel bedeutet. Die Stromstärke, welche bei allen Versu-

chen dieselbe blieb, betrug 13°. Bei den berechneten Quotienten ist hier wie bei allen folgenden Reihen das Comma weggelassen.

III.

| $d$ | $l$ | $n$ | $\alpha$ | $tg\,\alpha$ | $n^3$ | $\frac{tg\,\alpha}{n^3}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ½" | 4" | 2 | 2° 20' | 0,04075 | 8 | 509 |
| ¾" | 6" | 3 | 7° 50' | 0,1379 | 27 | 509 |
| 1" | 8" | 4 | 18° | 0,325 | 64 | 508 |
| 1½" | 12" | 6 | 47° 40' | 1,0977 | 216 | 508 |
| 2" | 16" | 8 | 69° | 2,605 | 512 | 509 |

Diese Versuchsreihe zeigt einerseits eine Bestätigung des Thomson'schen Satzes, während sie andererseits, da dieser Satz durch die vorige Reihe bereits festgestellt ist, eine Bestätigung dafür liefert, dafs der Magnetismus unter den gegebenen Verhältnissen der dritten Potenz der Entfernung proportional abnimmt.

Nach diesen Resultaten war es mir von dem höchsten Interesse zu erfahren, ob die Spiegelbussole bei der Fernrohrablesung, in welchem Falle die Magnete weiter von dem Mefsinstrument entfernt seyn mufsten, zu demselben Resultat führen würde. Die Reihe der verwandten Magnete wurde für diesen Fall noch um einen vermehrt, welcher 24" Länge und 3" Durchmesser hatte. Die Magnete lagen 9 Fufs von dem Spiegel entfernt und waren von einem Strome umflossen, der die Nadel meiner Tangentenbussole auf 13° ablenkte.

IV.

| $d$ | $l$ | $n$ | $tg\,\alpha$ | $n^3$ | $\frac{tg\,\alpha}{n^3}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ½" | 4" | 2 | 1,37 | 8 | 171 |
| ¾" | 6" | 3 | 4,5 | 27 | 167 |
| 1" | 8" | 4 | 10,5 | 64 | 164 |
| 1½" | 12" | 6 | 35 | 216 | 162 |
| 2" | 16" | 8 | 84,5 | 512 | 165 |
| 3" | 24" | 12 | 290 | 1728 | 167 |

Bedenkt man, dafs die hier erhaltenen geringen Abweichungen durch so manche Fehlerquellen hervorgerufen seyn können, bedenkt man z. B. dafs der erste Werth dadurch erhalten wurde, dafs die Ablenkungen nach beiden Seiten hin 1,5 und 1,25 betragen hatten, so wird man erkennen, dafs die Constanz der Quotienten nicht leicht gröfser seyn kann. Möglicher Weise könnte doch auch die hier mit 1,5 verzeichnete Beobachtung 1,4 gewesen seyn, was man nicht zu unterscheiden im Stande ist. In diesem Falle wäre dann das Mittel 1,32 gewesen und diefs hätte einen Quotienten 165 gegeben, einen Werth, der dem bei dem 2" dicken Magneten genau gleich ist.

Es bestätigen also auch diese Versuche den Satz von Thomson aufs Genauste.

C. Verallgemeinerung des Satzes von Thomson.

In drei Beziehungen sind die bisherigen Versuche zur Prüfung des Thomson'schen Satzes nur für einen speciellen Fall entscheidend, wenn der Satz überhaupt in der Allgemeinheit Geltung haben soll, wie ihn Joule ausspricht.

1. Der Satz mufs auch richtig seyn, d. h. es mufs sich auch das Verhältnifs der dritten Potenzen ergeben, wenn die Kerne nicht in der Ost-Westrichtung dem Spiegel gegenüber gelegt werden.

2. Da »ähnliche Stangen auch dann auf ähnliche Weise mit Draht bewickelt« seyn können, wenn die Spiralen den Kern nicht seiner ganzen Länge nach, oder nicht gleichmäfsig bedecken, so mufs nach Joule's Darstellung auch dann der fragliche Satz gelten.

3. Ebenso schliefst der genannte Ausdruck auch nicht die Bedingung ein, dafs die Spiralen die Kerne eng umschliefsen.

Es unterliegt schon von vorn herein keinem Zweifel, dafs das Gesetz sich auch unter der Bedingung ergeben werde, wenn die Kerne sich nicht in der Ost-Westrichtung befinden. Viel wichtiger, weil viel weniger *a priori* bestimmbar, ist aber die Frage, ob das Gesetz auch noch Geltung

habe, wenn die Spiralen den Kern weder ganz bedecken, noch ihn eng umschliefsen, aber den Verhältnissen desselben ähnlich geformt sind.

Die meisten Versuche, welche ich bisher mit Elektromagneten angestellt habe, sind unter der Bedingung ausgeführt, dafs die Kerne ihrer ganzen Länge nach mit der Spirale bedeckt sind, und mehrere erfordern auch selbstverständlich eine gleichmäfsige Vertheilung der Spiralwindungen auf der *ganzen* Kernlänge; allein ich habe schon an andern Orten Fälle aufgeführt [1]), in denen durch eine nicht gleichmäfsige Vertheilung der Spiralwindungen über den ganzen Magnetkern die Gesetze nicht geändert werden.

In meiner neuesten Untersuchung über den Kerndurchmesser [2]) habe ich gezeigt, dafs auch in dem Falle der Magnetismus der Quadratwurzel des Kerndurchmessers proportional ist, wenn die Spiralwindungen den Kern nur theilweise bedecken.

Schon diese Beobachtungen sprechen dafür, dafs auch in Bezug auf ähnliche Magnetkerne das von Thomson ausgesprochene Gesetz gelten werde, wenn die Bewicklungen einander ähnlich sind, ohne den ganzen Kern zu bedecken; dafs also das Thomson'sche Gesetz wirklich die Allgemeinheit hat, in der es ausgesprochen ist.

Um diefs zu prüfen, habe ich zwei Versuchsreihen ausgeführt, bei denen die Magnetkerne nicht in der Ost-Westrichtung lagen und nur theilweise von der galvanischen Spirale bedeckt wurden. In dem einen Falle umgab die Hälfte der Anzahl der Spiralwindungen, welche für die vollständige Bewicklung des Magnetkernes nöthig ist, die dem Stahlspiegel zugekehrte Hälfte der Magnetkerne. Bei der andern Versuchsreihe war die halbe Spirale so auf die Kerne gesteckt, dafs sie mehr auf der andern Kernhälfte sich befand. Der Kern stand auf der dem Spiegel zugekehrten Seite $\frac{3}{8}$ seiner Länge aus der Spirale hervor. Die

1) Dub, Elektromagnetismus S. 161 u. f.

2) Pogg. Ann. Bd. 115, S. 215.

Richtung in welcher die Kerne lagen, bildete mit der Ost-Westrichtung einen Winkel von 20°.

In dem erstgenannten Falle, wo also die dem Spiegel zugekehrte Hälfte des Magnetkernes mit Spiralwindungen umgeben war, ergab sich folgendes Resultat:

V.

| $d$ | $l$ | $n$ | $n^3$ | $tg\,\alpha$ | $\frac{tg\,\alpha}{n^3}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{2}$" | 4" | 1 | 1 | 1,35 | 135 |
| 1" | 8" | 2 | 8 | 10,25 | 128 |
| $1\frac{1}{2}$" | 12" | 3 | 27 | 35 | 130 |
| 2 | 16" | 4 | 64 | 85 | 133 |
| 3" | 24" | 6 | 216 | 285 | 132 |

In dem zweiten bereits genannten Falle, in welchem die Kerne nach der dem Spiegel zugekehrten Seite $\frac{3}{8}$ ihrer Länge aus der halben Spirale hervorragten, ergab sich folgendes Resultat:

VI.

| $d$ | $l$ | $n$ | $n^3$ | $tg\,\alpha$ | $\frac{tg\,\alpha}{n^3}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{2}$" | 4" | 1 | 1 | 1,5 | 150 |
| 1" | 8" | 2 | 8 | 12 | 150 |
| $1\frac{1}{2}$" | 12" | 3 | 27 | 40,5 | 150 |
| 2" | 16" | 4 | 64 | 97,25 | 152 |
| 3" | 24" | 6 | 216 | 328 | 152 |

Beide hier aufgeführten Reihen, bei denen der angewandte Strom die Nadel meiner Tangentenbussole stets auf $8\frac{1}{2}$° ablenkte, setzen es aufser Zweifel, dafs der Satz von Thomson auch dann Geltung hat, wenn die Spiralen den Kern nicht seiner ganzen Länge nach bedecken und dabei ungleichmäfsig auf ihm vertheilt sind.

Die Ungleichmäfsigkeit der Vertheilung der Spiralwindungen könnte nun aufser in der hier angewandten Weise noch darin bestehen, dafs die Windungen an einzelnen Stellen mehr *über einander* gehäuft wären, als an anderen Stellen des Kernes. Zur Prüfung dieses Falles sind verschieden gewickelte Spiralen nöthig, welche mir für die

Thomson'schen Magnetformen nicht zu Gebot stehen. Allein wie wir später sehen werden, ist eine Untersuchung in diesem Sinne unnütz, da ich in dem Folgenden zeige, dafs eine Bewicklung der genannten Art auch unter anderen Umständen, als den nach Thomson's Satz stattfindenden, das fragliche Gesetz nicht stört.

Um drittens zu untersuchen, ob sich auch dann noch dasselbe Gesetz herausstelle, wenn die Spiralwindungen die Kerne nicht eng umschliefsen, aber dem Durchmesser, so wie der Länge derselben proportional zunehmen, stellte ich nur einige Versuche an, welche auch unter dieser Bedingung den Erwartungen entsprachen:

VII.

| $d$ | $l$ | $D$ | $W$ | $n$ | $n^3$ | $tg\,\alpha$ | $\frac{tg\,\alpha}{n^3}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{3}{4}$ | 6 | 1 | 84 | 3 | 27 | 2,25 | 833 |
| 1 | 8 | $1\frac{1}{2}$ | 112 | 4 | 64 | 5,25 | 820 |
| $1\frac{1}{2}$ | 12 | 2 | 168 | 6 | 216 | 18 | 833 |
| 2 | 16 | 3 | 224 | 8 | 512 | 42,5 | 830 |

In dieser Reihe bedeuten $D$ die innere Weite der Spiralen, und $W$ die Anzahl ihrer Windungen.

So sehen wir also, dafs der Satz Thomson's ganz in der allgemeinen Fassung Geltung hat, wie ihn Joule ausgesprochen hat.

### III. Schlüsse aus dem Satze von Thomson.

Wir haben gesehen, dafs der Satz Thomsons sich aus den bekannten Sätzen über den freien Magnetismus der Elektromagnete herleiten läfst. Wenngleich nicht in Abrede zu stellen ist, dafs durch diesen Zusammenhang mit dem Satze von Thomson, den wir doch nach dem Vorangehenden als unumstöfslich anerkennen müssen, jene Sätze ebenfalls gröfsere Wahrscheinlichkeit erhalten; so ist doch andererseits klar, dafs Thomsons Satz auch ohne jene Sätze Geltung haben könnte. Wie diefs unter verschiedenen Bedingungen möglich ist, liegt auf der Hand.

Die von mir behaupteten Sätze werden aber unumstöfslich gewifs, wenn aus ihrer Anwendung auf jenen Satz andere Erscheinungen abgeleitet werden können, welche die Erfahrung bestätigt. Diese in der genannten Weise ableitbaren Sätze sind nun aber folgende.

1. Wenn es richtig ist, dafs der Magnetismus den Quadratwurzeln der Kerndurchmesser proportional ist, so folgt aus Thomson's Satz, dafs Elektromagnete von gleichem Durchmesser im Verhältnifs von $1 : \frac{n^3}{\sqrt{n}}$ d. h. $n^{\frac{5}{2}}$ an Kraft zunehmen müssen, wenn wir die Länge und Windungszahl $n$ nennen. Magnete dieser Art unterscheiden sich nämlich von den ähnlichen Elektromagneten nur dadurch, dafs ihr Durchmesser nicht ebenfalls in dem Verhältnifs wie $1 : n$ wächst.

Dieses Verhältnifs der Wirkung gleich dicker Elektromagnete auf einen aufserhalb liegenden magnetischen Punkt, $1 : n^2 \sqrt{n}$, mufs aber nach dem Vorhergehenden unter der Bedingung auftreten, *dafs die Mitte der Magnete in constantem Abstande von dem magnetischen Punkte bleibt.*

2. Nach dem Satze von Lenz und Jacobi, dafs der freie Magnetismus der Windungszahl der galvanischen Spirale proportional ist, folgt nun aber aus dem eben nachgewiesenen Satze, dafs der freie Magnetismus solcher Elektromagnete, deren Windungszahl ihrer galvanischen Spiralen *dieselbe* bleibt, sich in dem Verhältnisse $1 : n^{\frac{3}{2}}$ steigern mufs, wenn dieselbe Anzahl der Spiralwindungen auf alle Kerne proportional vertheilt bleibt, und *die Mitte* der Kerne sich in constantem Abstande von dem magnetischen Punkte befindet.

3. Mit diesem Satze würde dann ferner der von mir aufgestellte [1]) und von Hrn. Wiedemann bestätigte Satz [2]) in Uebereinstimmung seyn, dafs Hufeisenmagnete von verschiedener Länge, deren Schenkel in gleichem Abstande von einander bleiben und mit gleicher Windungszahl ihrer

1) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 209 u. f.
2) Pogg. Ann. Bd. 117, S. 202.

Spiralen und gleichem Strome magnetisirt werden, auf einen entfernten Punkt wie die Wurzeln ihrer Längen wirken, wenn der Einfluſs des Polabstandes den Kernlängen proportional ist.

Wir kommen nach Besprechung der Sätze unter 1 und 2 noch einmal auf diesen Punkt zurück.

*A.* Eisenstäbe die ihrer ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedeckt sind.

Den zuletzt erwähnten Satz hinsichtlich der Wirkung der Länge verschiedener Hufeisen habe ich früher nur unter der Bedingung geprüft, daſs die Schenkel ihrer ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedeckt waren. Da ich nun neuerdings gefunden habe, daſs diesem Satze, wie auch den hier zunächst zu erörternden, eine noch gröſsere Allgemeinheit zukommt, so wollen wir die Darstellung der Untersuchung in der Weise scheiden, daſs zunächst die Versuche mitgetheilt werden, bei denen der Kern seiner ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedeckt ist, und dann diejenigen folgen, bei denen die Kerne nur theilweise mit der Spirale umgeben sind.

### 1. *Das Verhältniſs* $1 : n^2\sqrt{n}$.

*a.* Bei gleichem Abstande der Mitte der Kerne vom Stahlspiegel.

Um den Satz unter No. 1 zu prüfen, ob Magnetkerne von verschiedener Länge ($n$), welche bei gleicher Stromstärke mit $n$ Spiralwindungen umgeben sind, auf einen entfernten Punkt *bei gleichem Abstande ihrer Mitten von demselben* in dem Verhältniſs $1 : n^2\sqrt{n}$ wirken, wandte ich Kerne von einem Zoll Durchmesser an, deren Längen zwischen 4'' und 48'' variirten. Dieselben waren alle ihrer ganzen Länge nach mit Spiralwindungen bedeckt, deren Zahl im Verhältniſs der Kernlänge wuchs. Die Stromstärke war in allen Fällen $8\frac{1}{2}°$. Die Versuche ergaben, während die Mitte der Kerne 9 Fuſs von dem Spiegel des Magnetometers entfernt war, folgende Ablenkungen:

VIII.

| $l$ | $n$ | $\operatorname{tg}\alpha$ | $n^2\sqrt{n}$ | $\frac{\operatorname{tg}\alpha}{n^2\sqrt{n}}$ |
|---|---|---|---|---|
| 4" | 2 | 1,1 | 5,656 | 194 |
| 6" | 3 | 3 | 15,6 | 192 |
| 9" | 4,5 | 8,25 | 42,9 | 192 |
| 12" | 6 | 16,5 | 86 | 192 |
| 18" | 9 | 45 | 243 | 185 |
| 24" | 12 | 96 | 499 | 192 |
| 36" | 18 | 267 | 1375 | 194 |
| 48" | 24 | 545 | 2822 | 193 |

Die Ueberschriften der einzelnen Columnen haben dieselbe Bedeutung wie früher. Die letzte Columne zeigt ganz unzweifelhaft, dafs der Magnetismus in dem angeführten Verhältnisse wächst.

Es ist besonders für Experimentatoren nicht unwichtig zu bemerken, dafs ich diese Reihe nicht gleich beim ersten Versuche erhielt. Ich habe dieselben Versuche, bevor ich an einer Spiegelbussole beobachtete, öfter mit der gewöhnlichen Nadel angestellt und erhielt dabei immer ein dem eben aufgeführten ähnliches Resultat bis zu dem 18" langen Magnetkerne. Von da ab nahmen die beobachteten Werthe in einer Weise zu, dafs die hier aufgeführten Constanten sich verringerten. Hätte diese Verringerung vom kürzesten Kerne an stattgefunden, so würde ich haben schliefsen müssen, dafs das von mir erschlossene Gesetz nicht in der Natur begründet ist. Da aber eine ganze Anzahl von Kernen dem Gesetze folgte, so mufste ein unwesentlicher Umstand die Ursache der Abweichung seyn. Als ich später mit dem Spiegel experimentirte und sich ganz dieselbe Abweichung ergab, beobachtete ich unter Anderem auch, dafs, während alle Kerne bis zu dem 18" langen bei der Entfernung von 9 Fufs vom Mefsapparate, einen remanenten Magnetismus zeigten, der fast garnicht beobachtet werden konnte, der 24" lange nach Unterbrechung des Stromes den Spiegel noch auf 23 abgelenkt erhielt. Der 24" lange Kern hatte also sehr viel remanenten Magnetismus.

Diefs läfst auf geringere Weichheit schliefsen Da nun aber ein weniger weicher Stab auch weniger Magnetismus *annimmt*, so mufste *dieser* Stab nothwendig einen Werth geben, welcher nicht mit den übrigen in Uebereinstimmung seyn konnte. Nun war ich bis zu der Zeit, in welcher ich diese Beobachtung machte, nur im Besitz von 2 Fufs langen Magnetkernen. Den 3 und 4 Fufs langen hatte ich hergestellt durch Zusammenschrauben des eben besprochenen 2füfsigen Kernes mit einem von einem Fufs und einem anderen von 2 Fufs Länge. Wenngleich nun dieses Verfahren im Allgemeinen die Resultate durchaus nicht beeinträchtigt, wie ich schon früher gezeigt habe, so bewirkte es doch in diesem Falle, dafs der träge Magnet immer wieder mit ins Spiel kam, und daher sämmtliche Resultate mit den Kernen über 18" Länge zu klein ausfielen.

Ich beschlofs daher, um allen Uebelständen aus dem Wege zu gehen, nicht allein den 2 Fufs langen Stab noch einmal ausglühen, sondern auch zwei neue von 3 und 4 Fufs Länge und derselben Eisensorte anfertigen zu lassen. Hätte ich auch den 2 Fufs langen Stab durch einen anderen ersetzt, und mit diesem befriedigende Resultate erhalten, so wäre immer noch möglich gewesen, dafs diese dem Gesetz günstigen Resultate dadurch erhalten worden wären, dafs die neuen Stäbe aus noch weicherem Eisen bestanden hätten. Nachdem die genannte Aenderung ausgeführt, d. h. der 2 Fufs lange Stab neu ausgeglüht war, erhielt ich die unter No. VIII angeführte Versuchsreihe, welche denn auch beweist, dafs die früheren Abweichungen durch den nicht genügend weichen Stab hervorgebracht worden waren.

So bietet also die Prüfung des remanenten Magnetismus gleich nach der Magnetisirung eines Stabes ein treffliches Mittel, um zu entscheiden, ob ein Stab hinsichtlich seiner Weichheit brauchbar ist, oder nicht. Zeigt der remanente Magnetismus gröfsere Härte an, so ist wiederholtes Ausglühen das unfehlbare Mittel, den Stab mit anderen vergleichbar zu machen, vorausgesetzt, dafs der Stab von derselben Eisensorte ist, wie die anderen.

Aus der Reihe VIII folgt nun mit gröfster Sicherheit das Gesetz:

*Die Kraft, welche Magnete von gleichem Durchmesser, mit einer ihrer Länge proportionalen Anzahl von Spiralwindungen bewickelt, auf eine in constantem Abstande von ihrem mittleren Querschnitte befindliche Magnetnadel ausüben, ist bei n facher Länge dieser Magnete* $n^2\sqrt{n}$.

*b.* Bei verhältnifsmäfsig wechselnden Entfernungen.

Da ähnliche Magnete auf einen ähnlich liegenden Punkt gleiche Kraft ausüben, so folgt aus dem soeben ausgesprochenen Satze, dafs Magnete von gleicher Dicke auf Entfernungen, welche der Länge proportional sind, eine Kraft ausüben müssen, welche sich umgekehrt wie die Quadratwurzel dieser Entfernungen verhält. Ich habe bereits vorn bemerkt, dafs der eben bewiesene Satz zugleich indirect den Beweis liefert, dafs der Einflufs des Durchmessers der Magnetkerne den Quadratwurzeln dieser Durchmesser proportional ist.

Der Beweis für diesen Satz, auf den es mir hier aus bekannten Gründen ganz besonders ankommt, wird nun in noch viel einleuchtenderer Weise geliefert, wenn sich zeigt, dafs Magnetkerne von gleicher Dicke an Kraft in dem Verhältnifs der Wurzeln ihrer Längen abnehmen, wenn sie mit Spiralen umgeben sind, deren Windungszahl der Länge proportional wächst, und wenn man sie den Längen proportional von dem Stahlspiegel entfernt. In diesem Falle hat man ähnliche Magnete, denen aber die nöthige Dicke fehlt. Da nun ähnliche Magnete auf ähnliche Entfernungen *Gleiches* wirken, *so mufs die Kraft gleich dicker Stäbe bei der Länge proportionalen Entfernungen den Wurzeln ihrer Längen und Entfernungen proportional abnehmen, wenn die Dicke den Wurzeln dieser Verhältnisse proportional wirkt.*

Um nun zu zeigen, dafs diefs in der That der Fall ist, habe ich folgende Versuchsreihe ausgeführt.

Die vorher angewandten Magnetkerne von 6" bis 48" Länge wurden dem Stahlspiegel in Entfernungen gegenüber

gelegt, welche zwischen 18" und 144" variirten. Da die Localität, in der ich experimentirte, nicht erlaubte, die Magnete in die Ostwestrichtung zu legen, weil in derselben das Fernrohr stand, ich aber bereits gezeigt habe, dafs das Verhältnifs dasselbe bleibt, wenn auch eine andere Richtung genommen wird: so legte ich dieselben in eine Linie seitwärts, welche mit der Ostwestrichtung etwa einen Winkel von 20° bildete. Auf diese Weise erhielt ich die Versuchsreihe No. IX.

In dieser Reihe bedeutet *e* die Entfernung der Mitte der Magnete von dem Stahlspiegel, *l* ihre Länge und *n* das Verhältnifs dieser Längen, aus denen die Wurzel berechnet ist. Der angewandte Strom lenkte in allen Fällen die Nadel meiner Tangentenbussole auf 5° ab. Auch in diesem Falle wurde das Mittel aus beiden Ablenkungen des Spiegels nach rechts und links durch Umkehrung des Stromes genommen, und diefs ist, wie in allen anderen Fällen, nach Abzug der Ablenkung durch die Spirale in der Columne unter $\operatorname{tg}\alpha$ verzeichnet.

IX.

| $e$ | $l$ | $n$ | $\sqrt{n}$ | $\operatorname{tg}\alpha$ | $\operatorname{tg}\alpha . \sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 18" | 6" | 1 | 1 | 400 | 400 |
| 36" | 12" | 2 | 1,414 | 282 | 399 |
| 54" | 18" | 3 | 1,732 | 232 | 402 |
| 72" | 24" | 4 | 2 | 201 | 402 |
| 108" | 36" | 6 | 2,45 | 166 | 406 |
| 144" | 48" | 8 | 2,828 | 141 | 399 |

Die Multiplication der bei der Beobachtung erhaltenen Werthe mit $\sqrt{n}$, d. h. der Wurzel der Länge, welche, wenn die Kerne ähnliche Formen hätten, auch die Wurzel der Durchmesser wäre, zeigt, wie wir sehen, so nahezu constante Werthe, dafs durch sie ganz sicher der Satz festgestellt wird:

»*Bei gleichbleibendem Strome und gleicher Dicke der Magnetkerne nimmt die Wirkung verschieden langer und mit einer der Länge proportionalen Anzahl galvanischer Spiralwindungen bewickelter Magnetkerne auf einen der Länge*

*proportional entfernten Punkt den Quadratwurzeln dieser Länge proportional ab.«*

Aus diesem und dem Thomson'schen Satze folgt ganz direct, dafs der magnetisirende Einflufs des Kerndurchmessers der Quadratwurzel desselben proportional seyn mufs.

2. *Das Verhältnifs* $1 : n\sqrt{n}$.

Steht der Satz hinsichtlich der verschieden langen Stäbe, welche eine ihrer Länge proportionale Windungszahl besitzen, fest, so mufs selbstverständlich die blofse Stablänge bei *gleicher* Windungszahl der Spirale, wenn diese proportional auf den Kernen vertheilt ist, in dem Verhältnifs $n\sqrt{n}$ wirken, wenn $n$ die Länge bedeutet; denn die Wirkung der $n$fachen Windungszahl ist $n$ proportional.

Um diesen Satz zu prüfen, habe ich zunächst die vorher angewandten Kerne ihrer ganzen Länge nach mit proportionaler Windungszahl umgeben und habe dann den Strom in demselben Verhältnifs geschwächt, in welchem die Anzahl der Windungen zunahm, so dafs die Kerne von derselben magnetisirenden Kraft auf ihrer ganzen Länge afficirt wurden.

Bei dem kürzesten der angewandten Magnetkerne (4" lang) war die Stromstärke $= tg 42^\circ = 0{,}9004$. Hiernach sind die Stromstärken berechnet, welche bei den einzelnen Magneten angewandt wurden. Dieselben sind in der folgenden Tabelle unter $s$ verzeichnet. Die übrigen Columnen haben die frühere Bedeutung. Ich erhielt folgende Reihe:

X.

| $l$ | $n$ | $s$ | $tg\,\alpha$ | $n\sqrt{n}$ | $\frac{tg\,\alpha}{n\sqrt{n}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 4" | 2 | 42° | 6,25 | 1,828 | 221 |
| 6" | 3 | 31° | 11,5 | 5,196 | 223 |
| 12" | 6 | 16°,75 | 32,5 | 14,7 | 221 |
| 18" | 9 | 10°,25 | 60,25 | 27 | 223 |
| 24" | 12 | 8°,5 | 93 | 41,568 | 223 |
| 36" | 18 | 5°,5 | 176 | 76,374 | 230 |
| [illegible]3" | 24 | 4°,10 | 260 | 117 | 222 |

Durch diese Reihe wird die Richtigkeit des durch die vorn gemachten Schlüsse erhaltenen Resultats aufser Zweifel gesetzt, wenn wir annehmen, dafs die Art, wie diese Versuche angestellt sind, durchaus zweckentsprechend ist. Der Satz soll richtig seyn, wenn bei *gleichem Strome* dieselbe Windungszahl über die ganze Länge aller Kerne vertheilt ist. Diefs ist nun aber bei den vorliegenden Versuchen nicht der Fall gewesen, sondern es war nur das Product aus Stromstärke und Windungszahl der Spirale constant.

Ich bin um so mehr genöthigt den fraglichen Satz noch in anderer Weise zu begründen, weil die in einer entsprechenden Beziehung früher von mir angestellten Versuche von Hrn. Wiedemann angefochten worden sind. Wie schon vorn erwähnt, habe ich früher Versuche mit Hufeisenmagneten angestellt [1]), bei denen ich fand, dafs die gröfsere Eisenmasse bei verschieden langen Stäben den Quadratwurzeln der Stablängen proportional wirkt, d. h. dafs der freie Magnetismus $\sqrt{l}$ proportional ist, wenn die Entfernung der Schenkel dieselbe bleibt. Diesen Satz habe ich ebenfalls in der Weise gefunden, dafs ich dieselbe magnetisirende Kraft auf die verschieden langen Kerne wirken liefs, und aus diesem Grunde sagt Hr. Wiedemann in Bezug auf diesen Satz [2]): »Die Quotienten $z = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sqrt{l}}$ sind bei diesen Versuchen fast völlig constant. Wir haben aber im vorigen Aufsatz gezeigt, wie bei gewissen Verhältnissen sogar eine Zunahme der Quotienten $z$ bei wachsender Länge der Hufeisen beobachtet werden kann, *die wohl durch eine stärkere Wechselwirkung der Pole bei den längeren Hufeisen bedingt ist.* Die von Dub gefundene Constanz der Quotienten $Z$ *möchte* daher nicht als eine allgemein gültige, sondern nur in den speciellen Bedingungen seiner Versuche begründete zu betrachten seyn, um so mehr, als sich ergeben hat, dafs die Verhältnisse der Momente der Stäbe

1) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 208.
2) Ib. Bd. 117, S. 233.

und der Intensität der sie erzeugenden Ströme sich mit dem Anwachsen der letzteren bedeutend, und zwar bei verschieden langen Stäben in ungleichem Grade ändern.«

Hr. Wiedemann will also die früher von mir angestellten Versuche deshalb nicht als Beweis für den Satz gelten lassen, dafs bei gleichem Abstande der Pole der Magnetismus verschieden langer Stäbe $\sqrt{l}$ proportional ist, weil der Magnetismus nicht den Strömen proportional wächst. Er erklärt dann die von mir erhaltenen Resultate dadurch, dafs eine Wechselwirkung der Pole des Hufeisens das ausgleicht, was durch die Schwächung des Stromes an der Constanz der Quotienten gestört wird. Nach Hrn. Wiedemann habe ich also damals constante Quotienten erhalten, weil

1) durch die Wechselwirkung der Pole mit der Zunahme der Stablänge der Magnetismus in gröfserem Verhältnisse *steigt*, während,
2) der Magnetismus mit der gleichzeitigen Verringerung des Stromes (bei den längeren Stäben) in gröfserem Verhältnifs *abnimmt*.

Dafs der erste Grund nicht stichhaltig ist, das beweisen die eben hier gegebenen Versuche. Ich habe hier *gerade Stäbe* unter sonst gleichen Bedingungen wie früher die Hufeisen angewandt. Hier kann nicht von einer solchen Wechselwirkung der Pole die Rede seyn, wie sie Hr. Wiedemann meint, und doch zeigt sich wieder ein einfaches Verhältnifs zur Länge der Stäbe, $1 : n\sqrt{n}$. Nach Allem, was die bisher gegebenen Versuche lehren, müssen wir den Einflufs der verschiedenen Kernlängen *wegen der gröfseren Entfernung der Pole* der Länge proportional setzen, und dann bleibt wieder für den Einflufs der durch die Länge vermehrten Eisenmasse $\sqrt{n}$ oder $\sqrt{l}$, ganz wie bei den Versuchen mit den Hufeisen.

Wenn dem aber nun so ist, wenn wirklich diefs Verhältnifs stattfindet, wo bleibt dann da der Einflufs, welcher durch die sich steigernde Stromstärke hervorgerufen wird,

bei welcher der Magnetismus in gröfserem Verhältnifs als der Strom wächst?

Um diefs näher zu untersuchen, war ich genöthigt, den in No. X gegebenen Versuch in anderer Weise auszuführen. Ich habe zu diesem Zwecke zu der einen Sorte von Spiralen, die ich stets anwende, und die so gewickelt sind, dafs sich zwei Lagen Draht übereinander befinden, noch zwei andere Arten angefertigt, deren eine 4 Lagen über einander trägt, während die andere nur eine Lage hat.

Diese drei Arten von Spiralen wurden nun so angewandt, dafs 6" bis 48" lange Magnetkerne in dieselben eingeführt wurden, so dafs bei gleicher Windungszahl immer verschiedene Kernlängen mit Spiralwindungen bedeckt waren. Hatte ich also eine 2" lange Spirale mit 4 Lagen Windungen über einander, zusammen 112 Windungen, und ersetzte diese durch dieselbe Windungszahl bei zwei Lagen und bei einer Lage, so erhielt ich dadurch eine doppelt und viermal so lange Spirale, in welche ich dann auch doppelt und viermal so lange Kerne bei *gleicher Stromstärke* einführte.

Auf diese Weise erhielt ich folgende Versuchsreihen mit Kernen von 1" und von 2" Durchmesser.

XI.

1" dicke Magnetkerne unter Anwendung von drei verschieden gewickelten Spiralen. Stromstärke 18°, 5. Spiralwindungen 112.

| Kernlänge | Spiralen | $tg\,\alpha$ | $n\sqrt{n}$ | $\frac{tg\,\alpha}{n\sqrt{n}}$ |
|---|---|---|---|---|
| 3" | 4 Lagen | 1,6 | 1 | 160 |
| 6" | 2 » | 4,5 | 2,828 | 159 |
| 12" | 1 » | 12,5 | 8 | 156 |
| 6" | 4 » | 4,75 | 1 | 475 |
| 12" | 2 » | 13,5 | 2,828 | 478 |
| 24" | 1 » | 38,5 | 8 | 481 |
| 9" | 4 » | 10 | 1 | 100 |
| 18" | 2 » | 28,5 | 2,828 | 100 |
| 36" | 1 » | 81 | 8 | 101 |

ler Vertheilung der *gleichen Windungszahl* auf die verschiedenen Kernlängen.

Ich bin ferner mit allen den Versuchen von X bis XV einem von Hrn. Wiedemann ausgesprochenen Wunsche nachgekommen, welcher darin bestand, dafs ich den Einflufs der Momente der geraden Stäbe auf die Ablenkung der Magnetnadel näher hätte berechnen sollen. Hr. Wiedemann sagt, ich begnüge mich mit der Angabe, dafs bei geraden Stäben die Nadelablenkung nicht wie bei dem Hufeisen im Verhältnifs $\sqrt{l}$, sondern in einem gröfseren Verhältnifs wachse [1]).

Hr. Wiedemann hat nun diese Rechnung angestellt und auch nichts weiter gefunden, als ich früher. Dafs es uns beiden bisher so ergangen, hatte einfach seinen Grund darin, dafs wir, Hr. Wiedemann neuerdings, so wie ich früher, die geraden Eisenstäbe stets *so* dem Mefsinstrumente in der Ostwestrichtung gegenüber gelegt hatten, *dafs das nächste Ende derselben in gleichem Abstande von dem Spiegel oder der Nadel sich befand* [2]). Wenn nun bei *gleichem Abstande der Mitte* der Stäbe ein einfaches Verhältnifs stattfindet, so kann man diefs natürlich nicht heraus erkennen, wenn das Experiment so complicirt angestellt wird, wie diefs bisher geschehen war.

Dafs nun Hr. Wiedemann den mir ertheilten Rath, »*die Bedingungen bei den Versuchen möglichst einfach herzustellen*« [3]) hier selbst nicht befolgt hat, findet wohl darin seine Entschuldigung, dafs er »*den natürlichen Weg*« nicht erkannt hat.

Hr. Wiedemann bemüht sich aufserdem *a priori* den Beweis zu liefern, *dafs es von vorn herein nicht gut möglich erscheine, dafs die Momente der Elektromagnete eine einfache Function ihrer Länge seyen* [4]). Hoffentlich wird er nach den hier gelieferten Resultaten, da doch die Aus-

1) Pogg. Ann. Bd. 117, S. 233.
2) Pogg. Ann. Bd. 117, S. 196.
3) Pogg. Ann. Bd. 117, S. 219.
4) Ib. S. 234.

drücke $n^2 \sqrt{n}$ und $n \sqrt{n}$ sicherlich einfache Functionen der Länge genannt werden müssen, seine Behauptung nicht mehr aufrecht erhalten.

### 3. Elektromagnete auf deren Kernen die Spiralwindungen nicht gleichmäfsig vertheilt sind.

Wenn nach den vorn angeführten Beobachtungen an den ähnlichen Magnetkernen der Thomson'sche Satz sich auch dann noch als gültig zeigte, wenn die Stäbe eine ähnliche Bewicklung hatten, ohne deshalb ihrer ganzen Länge nach mit der Spirale bedeckt zu seyn: so entstand die Frage, ob auch unter den hier besprochenen Bedingungen diese Erweiterung stattfände, ob der Magnetismus auch solcher Stäbe sich als eine einfache Function der Länge ergäbe, welche mit Spiralen bedeckt sind, die zwar der Länge proportional wachsen, aber die Kerne nur theilweise oder ungleichmäfsig bedecken.

Um diefs zu prüfen, schob ich auf die oben angewandten Stäbe, Spiralen, welche nur ein Drittheil der ganzen Länge jener Stäbe bedeckten, und zwar befanden sich diese Spiralen auf der Mitte der Kerne. Der Strom war für alle verschiedenen Spiralen constant, er lenkte die Nadel meiner Tangentenbussole auf 18° ab. Der Versuch ergab die nachstehenden Resultate:

XVI.

| $l$ | $n$ | $n^2\sqrt{n}$ | $\operatorname{tg}\alpha$ | $\frac{\operatorname{tg}\alpha}{n^2\sqrt{n}}$ |
|---|---|---|---|---|
| 6″ | 2 | 5,6 | 2,5 | 446 |
| 9″ | 3 | 15,6 | 7 | 448 |
| 12″ | 4 | 32 | 14,25 | 445 |
| 18″ | 6 | 86 | 38 | 442 |
| 24″ | 8 | 181 | 80 | 442 |
| 36″ | 12 | 499 | 224 | 448 |
| 48″ | 16 | 1024 | 460 | 449 |

Diese Resultate bestätigen die an den ähnlichen Kernen gemachten Beobachtungen, dafs nämlich die Wirkung der

Magnete in demselben Verhältnifs mit der Länge zunimmt, mögen die Kerne ganz oder nur theilweise mit der galvanischen Spirale bedeckt seyn, wenn die Windungen nur stets der Länge proportional vertheilt sind.

Um diesen Satz noch sicherer festzustellen, machte ich den Versuch noch in der Weise, dafs jeder Kern mit der halben Anzahl der Spiralwindungen bedeckt war, welche für seine ganze Länge nöthig ist, und dafs die Spirale sich dabei auf der dem Stahlspiegel zugekehrten Hälfte des Magnetkernes befand. Diese Spirale wurde von einem 15° starken Strome durchflossen. In diesem Fall ergab sich folgende Reihe:

XVII.

| $l$ | $n$ | $n^2\sqrt{n}$ | $\operatorname{tg}\alpha$ | $\frac{\operatorname{tg}\alpha}{n^2\sqrt{n}}$ |
|---|---|---|---|---|
| 4" | 2 | 5,6 | 1 | 178 |
| 6" | 3 | 15,6 | 2,75 | 176 |
| 12" | 6 | 86 | 15 | 174 |
| 18" | 9 | 243 | 42,5 | 174 |
| 24" | 12 | 499 | 86,5 | 173 |
| 36" | 18 | 1375 | 245 | 177 |
| 48" | 24 | 2822 | 506 | 175 |

Die beiden unter XVI und XVII angeführten Reihen beweisen, dafs auch dann das oben genannte Verhältnifs des freien Magnetismus zur Länge der Magnetstäbe Geltung habe, wenn die Kerne nicht ganz von der magnetisirenden Spirale bedeckt sind.

Dafs dasselbe Gesetz auch dann gilt, wenn die Spirale bei *gleichem Strome und gleicher Windungszahl* im Verhältnifs zur Länge der Eisenkerne über dieselben vertheilt wird, folgt aus mehreren Versuchen, welche unter XI, XII und XIII angeführt sind. In diesen Reihen sind nämlich nur die drei ersten Versuchsresultate in XIII mit solchen Kernen angestellt, welche ganz von der Spirale bedeckt waren, während die übrigen Kerne, wie aus den daselbst gemachten Angaben zu ersehen ist, nur theilweise von den

Spiralwindungen umgeben waren. Diese Resultate beweisen also, was allerdings nach dem Vorhergehenden vorauszusehen war, dafs auch in dem Falle das Quadrat des Magnetismus der dritten Potenz der Länge der Magnetkerne proportional wächst, wenn dieselbe Windungszahl über die Kerne ihrer Länge proportional vertheilt wird, ohne dafs die Spirale die Kerne ganz bedeckt.

Hiermit ist nun die Behauptung des Hrn. Wiedemann zum Theil widerlegt, in welcher er sagt [1]): »Die Uebereinstimmung der Sätze von Dub mit dem Satze von Thomson ist indefs noch kein Beweis für die allgemeine Gültigkeit der ersteren, denn, abgesehen vom Eintreten der Sättigung, mufs Thomson's Satz auch unter anderen Bedingungen der Magnetisirung eines Stabes durch eine Magnetisirungsspirale gelten.«

Diese *anderen* Bedingungen der Magnetisirung können darin bestehen, dafs die Kerne entweder nicht gleichmäfsig, oder nicht der ganzen Länge nach, oder weder gleichmäfsig, noch der ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedeckt sind. Die Ungleichmäfsigkeit der Vertheilung der Spiralwindungen kann aber entweder darin bestehen, dafs, wie bei den eben mitgetheilten Versuchen, der mittlere Querschnitt der Spirale nicht mit dem der Kerne zusammenfällt, oder, dafs die Spiralwindungen ungleichmäfsig über einander gehäuft sind.

Wenngleich diese Punkte zu der Zeit, als Hr. Wiedemann die obige Behauptung aufstellte, noch nicht untersucht waren, so gab ihm diefs doch keine Berechtigung zu derselben, weil er ebenfalls noch keine Versuche darüber angestellt hatte. Dafs er sich im Irrthume befunden, zeigen die eben mitgetheilten Resultate; es bleibt nur noch die eine Frage zu erörtern, ob das Gesetz auch unter der Bedingung gelte, dafs die Spiralwindungen ungleichmäfsig, aber den verschiedenen Kernlängen proportional über einander gehäuft sind.

Um diefs zu prüfen, habe ich folgenden Versuch ange-

1) Wiedemann, Elektrom. S. 349.

stellt. Auf 12" bis 48" lange Kerne wurden Spiralen aufgesteckt, so dafs in der Mitte sich einfach gewickelte, dagegen an den Enden doppelt gewickelte Spiralen befanden, deren Windungszahl sich stets der Länge proportional vermehrte, dafs mithin die einfache wie die doppelte Windungslage sich in gleichem Verhältnifs vergröfserte. Durch diese Einrichtung wurde die magnetisirende Kraft ganz ungleichmäfsig über die Kerne vertheilt, und diese Ungleichmäfsigkeit steigerte ich noch dadurch, dafs ich die Spiralen die Kerne nicht ihrer ganzen Länge nach bedecken liefs, so dafs z. B. der kürzeste, der 12" lange Kern, auf jeder Seite $2\frac{3}{8}$" aus der Spirale hervorstand. Mit so bewickelten Kernen erhielt ich folgende Reihe:

XVIII.

| $l$ | $n$ | $n^2\sqrt{n}$ | $\operatorname{tg}\alpha$ | $\frac{\operatorname{tg}\alpha}{n^2\sqrt{n}}$ |
|---|---|---|---|---|
| 12" | 2 | 5,656 | 9,25 | 164 |
| 18" | 3 | 15,6 | 25,75 | 165 |
| 24" | 4 | 32 | 51 | 160 |
| 36" | 6 | 86 | 144 | 167 |
| 48" | 8 | 181 | 295 | 163 |

Diese Reihe verbunden mit den vorher besprochenen zeigt, dafs die von mir hinsichtlich des Wurzelverhältnisses der Magnetkerndimension behaupteten Sätze in dieser Beziehung dieselbe Allgemeinheit besitzen, wie der Satz Thomson's, während in anderer Hinsicht die von mir aufgestellten Sätze einen viel weiteren Umfang haben, so dafs ich durchaus berechtigt bin, den Satz Thomson's einen speciellen Fall jener Sätze zu nennen.

### IV. Der Durchmesser der Magnetkerne.

Nach den bisher besprochenen Thatsachen folgt ganz unzweifelhaft für den Durchmesser der Magnetkerne, dafs der magnetisirende Einflufs desselben der Quadratwurzel proportional ist. Dieses Gesetz gilt nach den Versuchen, welche ich vorn mit ähnlichen Magneten angeführt habe,

auch dann, wenn die Spirale den Kern nicht seiner ganzen Länge nach bedeckt. Ich habe diefs bereits früher nachgewiesen [1]).

Da Hr. Wiedemann das von mir vertheidigte Gesetz durch eine Versuchsreihe zu widerlegen sucht, für welche er Magnetkerne bis zu $90^{mm}$, also etwa $3\frac{1}{2}''$ Durchmesser anwendet, während die von mir angewandten Kerne in dem Falle, welcher dem von Hrn. Wiedemann untersuchten am meisten entspricht, nur bis zu 2″ Durchmesser steigen; so habe ich neuerdings die Versuche noch einmal wiederholt und habe zu dem Zwecke ganz neue Kerne anfertigen lassen, welche nach dem Glühen sauber abgedreht und ganz genau nach den gegebenen Maafsen angefertigt waren. Diese Arbeit wurde einerseits deshalb unternommen, um sicher zu seyn, dafs nicht etwa nur die Anwendung zu dünner Stäbe zu dem früher aufgestellten Satze geführt hätte, und andererseits um auch den Umfang der Versuchsresultate in dem Maafse zu erweitern, dafs sie denen des Hrn. Wiedemann gegenüber gestellt werden können. Zu diesem Zwecke wurde die Zahl der Magnetkerne noch um einen vermehrt welcher 3″ Durchmesser hatte. Mit diesen Magnetkernen von $\frac{1}{2}''$, 1″, $1\frac{1}{2}''$, 2″ und 3″ Durchmesser führte ich drei Versuchsreihen bei verschiedenen Stromstärken aus, welche dann mit den früheren, bei noch gröfserer Stromesintensität angestellten Versuchen eine ziemlich reichhaltige Auswahl gewähren. Noch mufs ich erwähnen, dafs die drei folgenden Versuchsreihen nicht zu gleicher Zeit angestellt sind und deshalb nicht direct mit einander verglichen werden können.

XIX.

Magnetkerne von 12″ Länge, magnetisirt bei einem Strome von 20°.

| $d$ | $\operatorname{tg} \alpha$ | $W\sqrt{d}$ | $\frac{\operatorname{tg} \alpha}{W\sqrt{d}}$ |
|---|---|---|---|
| $\frac{1}{2}''$ | 29 | 451 | 643 |
| 1 ″ | 42 | 660 | 644 |
| $1\frac{1}{2}''$ | 50,25 | 785 | 641 |
| 2″ | 60 | 933 | 643 |
| 3″ | 79,25 | 1230 | 641 |

XX.

Stromstärke 15°.

| $d$ | $\operatorname{tg}\alpha$ | $W\sqrt{d}$ | $\frac{\operatorname{tg}\alpha}{W\sqrt{d}}$ |
|---|---|---|---|
| ½" | 21 | 451 | 476 |
| 1 " | 31 | 660 | 470 |
| 1½" | 37 | 784 | 472 |
| 2 " | 44 | 933 | 471 |
| 4 " | 59 | 1230 | 479 |

XXI.

Stromstärke 8°.

| $d$ | $\operatorname{tg}\alpha$ | $W\sqrt{d}$ | $\frac{\operatorname{tg}\alpha}{W\sqrt{d}}$ |
|---|---|---|---|
| ½" | 12 | 451 | 266 |
| 1 " | 17,5 | 660 | 263 |
| 1½" | 20,5 | 784 | 262 |
| 2 " | 25 | 933 | 267 |
| 3 " | 33 | 1230 | 268 |

Diese Versuchsreihen setzen es ebenso wie die vorangehenden Untersuchungen aufser Zweifel, *dafs der Magnetismus den Quadratwurzeln der Kerndurchmesser proportional ist.* Während aber hier der Satz direkt gezeigt wird, geben die früheren Versuche diesen Satz in seiner Anwendung, und dienen mithin in anderer Weise, wie diese direkten Versuche zur umfangreicheren Begründung desselben.

---

So habe ich nun hier eine gröfsere Anzahl von Versuchen ausgeführt, welche alle die schon früher von mir behaupteten Sätze innerhalb der Gränzen bestätigen, innerhalb deren die Gesetze des Elektromagnetismus überhaupt Geltung haben. Dabei sind alle diese Resultate unter der Bedingung erhalten, dafs die zusammengehörigen Werthe bei *gleicher Stromstärke* auftraten, so dafs nicht etwa hier das Bedenken Raum finden kann, als sey diese grofse Menge von übereinstimmenden Werthen nur durch zufällige Einflüsse der sich steigernden Stromstärke entstanden.

Dafs die von Hrn. Wiedemann kürzlich gegebenen Versuche in Bezug auf die Kerndurchmesser [1]) nicht im

1) Pogg. Ann. Bd. 117 S. 238.

Einklange mit den Resultaten dieser Abhandlung stehen, findet vielleicht in Folgendem seine Erklärung.

Hr. Wiedemann hat gezeigt, dafs ein 10,3$^{mm}$ dicker Stab von 250$^{mm}$ Länge bei einer Stromstärke, welche Hr. Wiedemann seinem Mefsinstrument gemäfs mit 106,9 bezeichnet, bereits das Maximum der Quotienten hat [1]), welche durch Division der Stromstärke in die beobachtete magnetische Intensität erhalten werden. Bei noch stärkeren Strömen mufs sich also bei einem solchen Stabe schon Sättigung zeigen, da, wie Hr. Wiedemann ausdrücklich sagt, sich zwischen dem Anwachsen und der Abnahme der Quotienten kein Uebergang findet, wo die magnetischen Momente innerhalb etwas weiterer Gränzen der Stromintensität proportional blieben. Dieses Maximum müfste nach Hrn. Wiedemann ein Stab von 31,7$^{mm}$ Durchmesser etwa bei der Stromstärke 173,5 erreicht haben [2]).

Wenn nun Hr. Wiedemann später bei der Untersuchung der Stabdurchmesser [3]) seine Resultate für dieselben Stäbe bei einer Stromstärke zwischen 400 bis 500 wählt, so mufs doch wohl für die 10,5, 20 und 30$^{mm}$ dicken Stäbe bereits die Annäherung an die Sättigung mehr hervorgetreten seyn, als diefs bei den aufserdem angewandten 60 und 90$^{mm}$ dicken Stäben von derselben Länge der Fall gewesen seyn kann.

Wenn ich nun auch der Meinung bin, dafs die Sache mit der Sättigung sich nicht genau so verhält, wie Hr. Wiedemann meint, so scheinen mir doch die von ihm erhaltenen Resultate in dem eben Gesagten ganz unzweifelhaft ihre Erklärung zu finden. Hierzu kommt aber noch, dafs diese Resultate bei der *ersten Magnetisirung* dieser Stäbe erhalten worden sind, bei welcher die magnetischen Momente nach Hrn. Wiedemann's eigenen Angaben in etwas anderm Verhältnifs stehen als bei wiederholter Magnetisirung. Diesen letzteren Umstand hat Hr. Wie-

1) Pogg. Ann. Bd. 117 S. 197.
2) Ib. S. 198.
3) Ib. S. 237.

demann bei einer mündlichen Besprechung selbst als die mögliche Ursache der Abweichung unserer Resultate von einander angegeben. Jedenfalls kann unter diesen Umständen der Versuch des Hrn. Wiedemann keine Beweiskraft gegen meine Versuchsresultate haben, welche hiernach unter den gewöhnlichen Bedingungen erhalten sind, während Hr. Wiedemann seine Versuche unter Ausnahmszuständen angestellt hat.

Nach diesen Untersuchungen ist somit außer Thomson's Satz Folgendes experimentell festgestellt:

1. »*Aehnliche Magnetkerne mit Spiralen bewickelt, deren Weite und Windungszahl den linearen Dimensionen proportional wächst, üben auf einen von ihrem mittleren Querschnitte gleich weit entfernten Punkt eine Kraft aus, welche der dritten Potenz der linearen Dimensionen proportional ist.*«

2. »*Magnetkerne von gleicher Dicke, die von gleichem Strome erregt werden, üben auf einen von ihrer Mitte gleich weit entfernten Punkt eine Kraft aus, deren Quadrat der fünften Potenz der Länge derselben proportional ist, wenn die sie magnetisirende galvanische Spirale eine der Länge proportionale Windungszahl hat, welche auf dieser Länge proportional vertheilt ist.*«

3. »*Die magnetisirende Kraft gleich dicker Magnetkerne auf einen von ihrer Mitte gleich weit entfernten Punkt ist der $\frac{5}{2}$ Potenz der Länge proportional, wenn die Spirale für alle Magnete aus gleicher Windungszahl besteht, welche der Länge proportional auf den Kernen vertheilt ist.*«

4. »*Dieselben Elektromagnete üben auf einen der Länge proportional entfernten Punkt eine Kraft aus, welche der Quadratwurzel aus der Entfernung oder der Länge umgekehrt proportional ist.*«

5. *Die genannten Sätze gelten nicht nur für den Fall, dafs die galvanische Spirale die Kerne ihrer ganzen Länge nach bedeckt, sondern sie bewahren auch ihre Gültigkeit, wenn die Spirale weder über die ganze Kernlänge reicht, noch die Kerne eng umschliefst, aber ihren Dimensionen pro-*

*portional wächst. Auch in diesem Falle ist der freie Magnetismus dieselbe einfache Function der Länge und des Durchmessers.«*

6. *»Der Umfang dieser Sätze, welche eine einfache Abhängigkeit des Magnetismus der Eisenstäbe und ihrer Theile von der Quadratwurzel ihrer Dimensionen begründen, wird durch den in weichem Eisen eintretenden magnetischen Sättigungszustand begränzt. Dieser Sättigungszustand macht sich um so eher bemerkbar, je länger die Stäbe bei gleicher magnetisirender Kraft sind, weil das Maximum des erregten Magnetismus in der Mitte der Stäbe unter dieser Bedingung der Quadratwurzel der Länge proportional wächst.«*

---

Ich habe bisher den einen Fall unerörtert gelassen, in welchem die Länge der Spirale die Kernlänge übertrifft. Zwar habe ich auch in dieser Richtung Versuche angestellt; aber um hierüber zu einem Urtheil zu gelangen, welches der auf die bisher besprochene Bewickelung sich beziehenden Allgemeinheit gleich kommt, sind Spiralen von viel größeren Dimensionen erforderlich, als die bisher in Anwendung gebrachten haben. Da ich für den Augenblick nicht im Besitz derselben bin, die Veröffentlichung der vorliegenden Versuche aber nicht länger verzögern will, so sehe ich mich genöthigt für jetzt noch mit einem allgemeinen Urtheil über diesen Punkt zurückzuhalten, will aber doch nicht unterlassen im Anschlufs an die hier folgenden Versuchsreihen meine Vermuthung auszusprechen.

Um zu sehen, wie sich die Sache verhält, habe ich folgenden Versuch gemacht. In die Mitte einer 3″ weiten Spirale von 2 Fufs Länge habe ich 1 und 2″ dicke Eisenkerne von 4 bis 18″ Länge eingeführt, so dafs die Spirale stets auf beiden Seiten gleich weit über den Kern hervorragte. So erhielt ich folgende Reihen:

XXII.

3" weite, 24" lange Spirale. 1" dicke Kerne. Strom 7°.

| $l$ | $n$ | $tg\,\alpha$ | $n^2\sqrt{n}$ | $\frac{tg\,\alpha}{n^2\sqrt{n}}$ |
|---|---|---|---|---|
| 4" | 2 | 1 | 5,6 | 178 |
| 6" | 3 | 2,75 | 15,6 | 176 |
| 9" | 4,5 | 7,75 | 42,9 | 180 |
| 12" | 6 | 14,75 | 86 | 171 |
| 15" | 7,5 | 26,25 | 153,6 | 171 |
| 18" | 9 | 42,75 | 243 | 175 |

XXIII.

2" dicke Kerne.

| $l$ | $n$ | $tg\,\alpha$ | $n^2\sqrt{n}$ | $\frac{tg\,\alpha}{n^2\sqrt{n}}$ |
|---|---|---|---|---|
| 4" | 2 | 1,62 | 5,6 | 289 |
| 6" | 3 | 4,5 | 15,6 | 288 |
| 12" | 6 | 24 | 86 | 279 |

Bei beiden Reihen betrug die Wirkung der Spirale auf den 9 Fufs entfernten Spiegel 6°,25, welche Wirkung von den bei den einzelnen Beobachtungen erhaltenen Werthen abgezogen ist.

Diese Resultate würden dadurch ihre Erklärung erhalten, dafs man annähme, die Wirkung der stets gleichen Spirale auf die verschieden langen Kerne fände in einer Weise statt, wie wenn die Kerne ihrer Länge nach mit einer entsprechenden Windungszahl bedeckt wären. Freilich würde das Resultat durch die Seitenwirkung vergröfsert, aber es ist möglich, dafs diese Vergröfserung eben wieder der Kernlänge proportional wüchse. Man wird erkennen, dafs die sich hier aufdrängenden Fragen durch das Experiment entschieden werden können, wenn dasselbe nur in dem nöthigen Umfange angestellt wird.

Ich behalte mir die Fortsetzung dieser Untersuchungen für eine spätere Zeit vor.

Berlin, im Sept. 1863.

## III. *Ueber die specifische Wärme wasserfreier und wasserhaltiger schwefelsaurer Salze; von Carl Pape.*

(Schlufs von S. 384.)

### 6. Ueber Regnaults Bestimmungen specifischer Wärmen.

Im Eingange dieser Arbeit habe ich bereits angedeutet, dafs die Werthe der spec. Wärme einiger Körper, die sowohl von Neumann als von Regnault untersucht sind, Abweichungen zeigen, deren Ursache bis jetzt nicht aufgeklärt ist. Wenn die Abweichungen unregelmässig wären und sich bei den verschiedenen Körpern bald nach der einen, bald nach der anderen Seite hin zeigten, so würde das weniger auffallen, man würde dann auf eine ungleiche Beschaffenheit der von Regnault und der von Neumann untersuchten Körper schliefsen müssen. Da sich aber bei Ersterem die spec. Wärmen ohne Ausnahme gröfser zeigen, so ist eine solche Annahme nicht wahrscheinlich, man mufs vielmehr annehmen, dafs entweder die von Regnault oder die von Neumann benutzte Methode einen constanten Fehler in sich schliefst, durch welchen die regelmäfsigen Abweichungen bedingt sind [1]). Es schien mir nicht ohne In-

1) Die folgende Tabelle enthält die von Neumann und von Regnault untersuchten Körper und die von jedem von ihnen gefundenen spec. Wärmen; die dritte Columne enthält die Differenzen der Werthe.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schwerspath | 0,107 | 0,113 | + 0,006 |
| Cölestin | 0,130 | 0,143 | + 0,013 |
| Anhydrit | 0,185 | 0,197 | + 0,012 |
| Arragonit | 0,197 | 0,209 | + 0,012 |
| Kalkspath | 0,202 | 0,209 | + 0,007 |
| Spatheisenstein | 0,182 | 0,194 | + 0,012 |
| Grau-Spiefsglanz | 0,083 | 0,084 | + 0,001 |
| Bleiglanz | 0,044 | 0,051 | + 0,007 |
| Zinkblende | 0,113 | 0,123 | + 0,010 |
| Rotheisenstein | 0,166 | 0,167 | + 0,001 |
| Speerkies | 0,133 | 0,135 | + 0,002 |
| Bergkrystall | 0,189 | 0,191 | + 0,002 |

teresse zu seyn, nach dem wahren Grunde dieser Abweichungen zu suchen und Gewifsheit darüber zu erlangen, welche der beiden Methoden mit einem solchen Fehler behaftet sey, ich habe deshalb einen genauen Vergleich der beiden Methoden angestellt.

Bei meinen eigenen Beobachtungen spec. Wärmen, welche mit Hülfe der Neumann'schen Methode angestellt sind, habe ich mich überzeugt, dafs diese von derartigen Fehlern frei ist, es konnte also der Grund für die angeführten Abweichungen nur in der Regnault'schen Methode liegen. Eine eingehende Prüfung dieser Methode hat mir nun in der That die Ueberzeugung verschafft, dafs sie mit mancherlei Fehlern behaftet ist, und dafs der einflufsreichste derselben ganz in dem Sinne einer [illegible] rung der spec. Wärmen, also einer Annäherung an die Neumann'schen Werthe wirke. In dem Folgenden werde ich den Nachweis meiner Behauptung liefern, indem ich die Regnault'sche Methode, die Einrichtung seiner Apparate und die Ausführung seiner Versuche, wie sie von ihm beschrieben sind [1]), einer eingehenderen Besprechung unterwerfe und die einzelnen beanstandeten Fehler hervorhebe.

Die ausgedehnten Regnault'schen Untersuchungen über die spec. Wärmen von Körpern und die übrigen von ihm erhaltenen Resultate, setze ich im Folgenden als bekannt voraus und werde auf dieselben nur in soweit eingehen, als es für den angedeuteten Zweck nöthig ist, ohne den unbestreitbaren grofsen Werth dieser Untersuchungen von Neuem hervorzuheben. Es ist eben nur meine Absicht zu zeigen, dafs dieselben nicht den Anspruch auf die gröfste, erreichbare Zuverlässigkeit erheben können.

Das Gesagte gilt zunächst von den älteren, im Jahre 1840 und 41 veröffentlichten Versuchen Regnaults; es wird sich indefs zeigen, dafs auch die neuerdings im J. 1861 veröffentlichten Beobachtungen [2]) mit denselben und an-

1) *Ann. de ch. et de ph. T.* 73 und *série III T.* 1; auch diese Ann. Bd. 51 und 63.
2) *Ann. de ch. et de ph. III. T.* 63.

deren Fehlerquellen behaftet sind. Es tritt bei diesen neuen Beobachtungen eine Fehlerquelle besonders stark hervor, die bei den älteren zwar auch vorhanden war, im Allgemeinen aber nur bei einzelnen Versuchen zur Geltung gekommen seyn kann. Einzelne der neueren Resultate sind sogar aus Versuchen erhalten, die wegen ihrer abweichenden Einrichtung, meiner Meinung nach, einen besonders zweifelhaften Charakter haben.

Ich beginne mit der Besprechung der älteren Regnault'schen Versuche. Die Methode, welche diesen sowohl wie den übrigen zu Grunde gelegt ist, ist die der Mischung; es wird auch hier ein erhitzter Körper in eine kältere Flüssigkeit getaucht und aus der beobachteten Temperaturerhöhung derselben, sowie den anderen bekannten Gröfsen, die gesuchte spec. Wärme berechnet. Die Gleichung, deren sich Regnault bedient hat, kann, obwohl sie sich nicht angegeben findet, keine andere seyn, als die oben angegebene einfache Gleichung, also das erste Glied der bei der Berechnung der Versuche benutzten corrigirten Gleichung. Es sind von ihm die Fehlerquellen, welche in der Ausstrahlung während der Beobachtung begründet sind, und die, welche nöthig werden, weil die Temperatur in der Zeit vom Eintauchen des erhitzten Körpers bis zum Eintritt des Maximums eine ungleiche ist, nicht von vorn herein berücksichtigt und nachher für jeden einzelnen Versuch aus den jedesmal beobachteten Gröfsen bestimmt; er hat vielmehr die Correctionen bei besonders zu diesem Zwecke angestellten Versuchen im Voraus ermittelt, sie durch Interpolationsformeln dargestellt und die daraus für jeden Versuch berechneten Werthe an betreffender Stelle hinzugefügt.

Es läfst sich im Allgemeinen gegen ein solches Verfahren nichts einwenden, man mufs annehmen, dafs Regnault die Interpolationsformel aus einer hinreichend grofsen Zahl von Versuchen bestimmt und dafür gesorgt hat, die äufseren Umstände in allen übrigen Versuchen ganz gleich herzustellen, obwohl Diefs nicht leicht ist wegen der leichten Veränderlichkeit der Oberflächenbeschaffenheit des Misch-

gefäfses, von welcher die Gröfse der Ausstrahlung also der Werth der anzubringenden Correction hauptsächlich abhängt. Es müssen aber die ermittelten Correctionen zweifelhaft erscheinen, da ihre Bestimmung sich gleichzeitig auf Annahmen stützt, die ihre Begründung keineswegs in den Resultaten bestimmter Versuche finden, sondern nur als wahrscheinlich hingestellt sind.

Um diese Behauptung zu rechtfertigen wird es nöthig seyn, etwas specieller auf die Regnault'schen Beobachtungen einzugehen, wie sie von ihm beschrieben sind [1]). Regnault beobachtet zunächst die Temperatur der Mischflüssigkeit und bringt, von diesem Augenblicke an die Zeit zählend, das Mischgefäfs unter den Dampfapparat und läfst die erhitzte Substanz hineinfallen, führt es dann wieder an die frühere Stelle zurück, um daselbst die weiteren Temperatur- und Zeitbeobachtungen anzustellen, wie ich sie bei meinen Versuchen beschrieben habe. Die Zeit, welche vom Aufheben des Mischgefäfses bis zum Zurückführen desselben an seine ursprüngliche Stelle verfliefst, beträgt nach Regnault's Angabe etwa 30 Sekunden. Aus dieser nicht beobachteten, sondern nur geschätzten Zeit und der beobachteten Zeit des Maximumanfanges wird dann die für diese Correction wesentliche Zeitdauer berechnet. Aufser dem Fehler, der dadurch begangen wird, dafs diese Zeit nicht von dem Hineinwerfen des Körpers in die Flüssigkeit sondern von dem Ende der genannten 30 Sekunden an gezählt wird, ist noch die unzulässige Annahme gemacht, dafs die Temperatur der Flüssigkeit in diesen 30 Sekunden constant bleibe, es mufs also die eingeführte Correction zweifelhaft erscheinen.

Die Bedeutung dieser Correction verliert durch eine weitere unbewiesene Annahme noch mehr an Werth. Regnault nimmt nämlich an, um die Gröfse der einzuführenden Correction bestimmen zu können, dafs die Flüssigkeit im ersten Viertel der Zeit, welche vom Augenblicke der Rückkunft des Gefäfses an der Beobachtungsstelle bis zum

1) *Ann. de ch. et de ph. T.* 73, *p.* 22 *ff.* Diese Ann. Bd. 51, S. 60.

Eintritt des Maximums verfliefst, die Temperatur der Umgebung und in den übrigen drei Vierteln die des Maximums habe.

Es scheint nicht nöthig, die Versuche einer eingehenderen Besprechung in Beziehung auf die Correctionen hier zu unterwerfen, welche Regnault mit flüssigen und pulverförmigen Körpern angestellt hat, da er selbst erklärt, dafs er sie für nicht hinreichend zuverlässig halte. Ich will nur darauf hinweisen, dafs diese Stoffe von ihm in Glas eingeschmolzen oder in Messingcylinderchen eingestampft, in dieser Form erhitzt und in die Mischflüssigkeit eingeführt sind. Nach seinen eigenen Angaben ist in solchen Fällen das Temperaturmaximum erst nach 10 bis 15 Minuten eingetreten und hat dann mehrere Minuten angedauert. Unter solchen Umständen betragen die Correctionen einen sehr mefsbaren Theil der ganzen Temperaturerhöhung, so dafs es deshalb sehr gewagt erscheint, gröfstentheils auf die Beobachtung von Correctionen die Bestimmung von Zahlen zu stützen, selbst wenn ihnen nur eine geringere Zuverlässigkeit zuerkannt werden soll.

Bei Versuchen dieser Art ist namentlich der Umstand von bedeutendem Einflusse auf das Resultat, dafs die innere Wärmeleitungsfähigkeit des untersuchten Körpers hier nicht vernachlässigt werden darf, wie in den Fällen in welchen der Körper in sehr kleinen Stücken angewandt wird. Aus diesem Grunde müssen aufser den letztgenannten auch noch einzelne der Beobachtungen fehlerhaft seyn, welche Regnault zur Ermittelung der spec. Wärme von Metallen angestellt hat, weil diese zum Theil in Stücken von vielen Cubikcentimetern Inhalt angewandt sind. Auf den Einflufs dieser Fehlerquelle werde ich zurückkommen bei der Besprechung der neueren Untersuchungen Regnault's, weil sie sich bei diesen besonders stark geltend macht.

Ein anderer wesentlicher, eigentlich der hauptsächlichste Punkt bei der Bestimmung von spec. Wärmen ist, neben der genauen Beobachtung der Temperaturerhöhung, der, dafs man sich auf das Unzweifelhafteste davon überzeugt,

dafs der erhitzte Körper durch und durch dieselbe constante Temperatur besitze, wie sie von dem benutzten Thermometer angezeigt wird. Bei der Beschreibung des Neumann'schen Dampfapparates habe ich ganz besonders hervorgehoben, dafs dieser die Bedingung vollständig erfüllt und habe mich dabei auf Versuche berufen, die eine völlige Uebereinstimmung zwischen dem Stande des angewandten Thermometers im Dampfapparate und dem desselben Thermometers bei unverändertem Barometerstande in einer Cavendish'schen Röhre ergeben haben. Ein Gleiches läfst sich nicht von Regnault's Dampfapparat sagen, wie aus dessen eigenen Versuchen hervorgeht und auch von ihm selbst zugestanden wird. Das Thermometer, welches sich mit dem erhitzten Körper in demselben Raume befindet, zeigt in seinen Versuchen immer eine niedrigere Temperatur an, als sie der Dampf von siedendem Wasser besitzen mufs [1]). Es mufs also dieser Apparat einen Fehler in seiner Einrichtung haben und zwar kann, wie mir scheint, dieser Fehler nur darin liegen, dafs der Verschlufs des inneren cylinderförmigen Hohlraumes nicht luftdicht ist, es mufs in demselben eine continuirliche, wenn auch nur schwache Einströmung von kalter Luft von unten und eine Ausströmung warmer Luft oben stattfinden. Anders kann ich mir wenigstens den niederen Stand des Thermometers nicht erklären, der häufig um zwei bis drei Grade von 100° abweicht, denn bei dem Neumann'schen Apparate, der vollkommen luftdicht schliefst, hat es sich gezeigt, dafs es möglich ist, dem eingeschlossenen Raume die Temperatur des Wasserdampfes zu geben.

Die Einrichtung des Apparates, wie sie von Regnault selbst beschrieben ist, giebt der ausgesprochenen Vermuthung Wahrscheinlichkeit. Der Verschlufs des verticalen Cylinders, der an den Seiten von Dampf umströmt ist, wird nämlich oben durch einen cylindrischen Stopfer aus Weifsblech mit übergreifendem, ebenem Rande bewirkt, in dessen Mitte das Thermometer eingekorkt ist, und unten

1) *Ann. de ch. et de ph. T.* 73, *p.* 22; Diese Ann. Bd. 51 S. 60.

durch einen doppelten Auszug aus Weifsblech mit ebenfalls übergreifendem flachen Rande. Bis zu der Höhe des oberen der beiden zusammenhängenden Auszüge ist der Cylinder aufserhalb von Wasser von der Temperatur der Luft umströmt, um auf diese Weise das Mischgefäfs gegen die etwaige Erwärmung vom Dampfraume her zu schützen. Diese letztere Einrichtung mufs an sich eher schädlich als nützlich seyn, indem unter allen Umständen der obere Theil des Auszuges, wegen seines guten Wärmeleitungsvermögens, dem warmen Cylinder dadurch unnöthig mehr Wärme entziehen und dem Wasser abgeben wird.

Durch einfaches in einander Schieben von Weifsblechcylindern ist ein vollständiger Verschlufs des erwärmten Raumes gewifs nicht mit Sicherheit, höchstens ab und an durch Zufall zu erreichen, im Allgemeinen wird er nie vollkommen seyn und dann wird stets ein mehr oder weniger starker Luftstrom durch den Apparat von unten nach oben gehen, der für einen bestimmten Versuch natürlich eine constante Stärke besitzen und eine gleichmäfsige Abkühlung des Raumes herbeiführen wird. In diesem Luftstrome sehe ich also den Grund für den niedrigen Stand des Thermometers in den Regnault'schen Versuchen.

Wenn man eine solche continuirliche, gleichmäfsige Abkühlung des Hohlraumes annimmt und von dem Thermometer an seiner Stelle in der Cylinderaxe nach längerer Zeit eine constante Temperatur angegeben sieht, so mufs man annehmen, dafs in allen Theilen des cylindrischen Hohlraumes eine constante Temperatur sey und zwar symmetrisch um die verticale Axe des Cylinders vertheilt, am niedrigsten in derselben, am höchsten und gleichzeitig der des umgebenden Wasserdampfes gleich an der Mantelfläche des Cylinders, von der ersteren bis zu der letzteren mit wachsendem Radius zunehmend. Ich sehe hierbei davon ab, dafs die Temperatur aufserdem im unteren Theile des ziemlich langen Hohlraumes niedriger als im oberen ist und nehme an, dafs der erhitzte Körper an seinem unteren

und oberen Theile an allen gleichgelegenen Stellen dieselbe Temperatur habe, wozu die geringe verticale Ausdehnung des vom Körper erfüllten Raumes wohl berechtigt. Wäre die ausgesprochene Vermuthung richtig, denn nur eine solche kann es seyn, da directe Beobachtungen nicht vorliegen, so müfste also auch der Körper der rund um das in der Cylinderaxe befindliche Thermometer in einem kleinen Doppelcylinder aus Drahtgeflecht vertheilt ist, eine höhere Temperatur haben, als das Thermometer anzeigt, und Regnault würde, wenn er diese Temperatur hätte in Rechnung bringen können, für die spec. Wärme der so untersuchten Körper einen kleineren Werth gefunden haben.

Aus dieser Ursache lassen sich die in der oben angegebenen Weise stattfindenden constanten Abweichungen der Regnault'schen Zahlen von den Neumann'schen zum Theil erklären, da bei der Berücksichtigung derselben die im Ausdrucke der spec. Wärme im Nenner auftretende Differenz zwischen der Temperatur des erhitzten Körpers und der beobachteten Max. Temperatur der Flüssigkeit dadurch gröfser und demnach der Werth der spec. Wärme kleiner wird. Zur Uebereinstimmung werden die von beiden Beobachtern gefundenen Werthe der spec. Wärmen bei Berücksichtigung dieses einen Fehlers indefs noch nicht gebracht, so dafs bei den Regnault'schen Versuchen noch andere Fehlerquellen angenommen werden müssen, so lange nicht den Neumann'schen solche nachgewiesen sind.

In unmittelbarer Nähe der Cylinderwand können wir im Regnault'schen Apparate, wegen ihrer sehr geringen Dicke, ohne Frage die Temperatur des umströmenden Dampfes annehmen, wäre diese also bekannt, so würde es möglich seyn, durch angenäherte Berechnung die wirkliche Temperatur des erhitzten Körpers zu ermitteln, da die Temperatur in der Axe des Cylinders durch das Thermometer angegeben wird, und die Regnault'schen Zahlen annähernd von dem durch die Verschiedenheit der Temperatur im Apparate bedingten Fehler befreien. Regnault hat aber weder directe Beobachtungen über die Temperatur des

Dampfes noch den Barometerstand angegeben, so dafs für die bestimmte Lösung dieser Frage durchaus kein Anhalt gegeben ist, da bei den äufsersten Barometerständen die Siedepunktstemperatur um 0°,5 C. um 100° schwanken kann. Es soll jedoch der Versuch unter der Annahme gemacht werden, dafs der Siedepunkt des Wasserdampfes und auch die Temperatur des erhitzten Körpers immer genau 100° C. gewesen sey, um in dem so berechneten Werthe der spec. Wärme und dem welchen Regnault angiebt Gränzwerthe zu erhalten, zwischen denen der wahre Werth liegen mufs, wenn nur dieser eine Fehler vorhanden ist. Wenn dieser Versuch auch nicht das Resultat haben kann die Regnault'schen Zahlen völlig zu verbessern, so wird er doch zeigen, von welcher Ordnung der Einflufs des so berücksichtigten Fehlers ist.

Um die Gröfse des Fehlers bestimmen zu können, mufs man zunächst wissen, ob die Regnault'schen Zahlen die betreffenden Correctionen schon enthalten, oder ob sie ihnen noch hinzuzufügen sind. Eine bestimmte Angabe hierüber findet sich nicht, eine nähere Betrachtung der angegebenen Zahlen und der Umstand, dafs die Werthe der spec. Wärmen, welche aus diesen Zahlen mit Hülfe der einfachen Gleichung unter der Annahme berechnet werden, dafs die Correctionen daran bereits angebracht seyen, bis auf sehr kleine Abweichungen sehr gut mit Regnault's Angaben stimmen, macht es indefs wahrscheinlich, dafs die Correctionen wirklich schon angebracht sind.

Wenn die Regnault'sche Bezeichnung beibehalten wird und man setzt die Temperatur, welche der Körper vom Gewichte $M$ in dem Dampfapparate erlangt hat $T$, die Maximumstemperatur der Flüssigkeit $\vartheta$, die corrigirte Temperaturerhöhung der Flüssigkeit $\Delta\vartheta$, die Wassermasse $A$, den Wasserwerth der verschiedenen Theile des Mischgefäfses $a = 5{,}70$, den Wasserwerth des kleinen Körbchens aus Messingdrahtgeflecht $k$, die gesuchte spec. Wärme $s$, so lautet die zur Berechnung dienende Gleichung

$$(Ms + k)(T - \vartheta) = (A + a)\Delta\vartheta.$$

Bei der Berechnung der spec. Wärme des Messings ist $k$ zu streichen, da es in einem solchen Falle bereits in $Ms$ enthalten ist.

In der folgenden Tabelle werde ich die Regnault'schen Beobachtungen für die Seite 579 aufgezählten Salze mit seinen Resultaten angeben und daneben die Werthe schreiben, welche aus diesen Zahlen mit Hülfe der obigen Formel erhalten sind, einmal unter der Annahme, dafs die beobachtete Temperatur des erhitzten Körpers diesem wirklich eigen gewesen, und dann, dafs sie 100°C. betragen habe, um auf diese Weise die zwei Gränzwerthe zu bekommen, zwischen denen der wirkliche Werth liegen müfste, wenn andere Fehlerquellen bei den Versuchen nicht wirksam gewesen wären. Es sind nicht sämmtliche Beobachtungen in der angegebenen Weise berechnet, es ist von mehreren Versuchen immer nur der als Beispiel gewählt, welcher den am Wenigsten vom Mittel abweichenden Werth der spec. Wärme gegeben hat.

| | $M$ | $k$ | $T$ | $A$ | $\vartheta$ | $\Delta\vartheta$ | $s$ | $T = T$ $s$ | $T = 100°$ C. $s$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Messing | 320,75 | | 98,27 | 462,41 | 18,80 | 5,376 | 0,09404 | 0,09288 | 0,09102 |
| | 320,75 | | 97,95 | 462,41 | 14,46 | 5,343 | 0,09378 | 0,09340 | 0,09116 |
| Schwerspath | 147,10 | 0,913 | 98,74 | 462,41 | 11,72 | 3,271 | 0,1129 | 0,1134 | 0,1117 |
| Cölestin | 89,90 | 0,705 | 98,74 | 461,80 | 21,91 | 2,214 | 0,1423 | 0,1420 | 0,1396 |
| Arragonit | 107,72 | 0,705 | 99,05 | 462,10 | 19,22 | 3,970 | 0,2081 | 0,2089 | 0,2069 |
| Kalkspath | 89,19 | 0,705 | 99,68 | 462,20 | 18,43 | 3,404 | 0,2087 | 0,2119 | 0,2110 |
| Spatheisenstein | 158,38 | 1,555 | 98,11 | 462,46 | 9,57 | 6,050 | 0,1939 | 0,1922 | 0,1879 |
| | 158,38 | 1,555 | 98,36 | 462,45 | 8,20 | 6,134 | 0,1930 | 0,1913 | 0,1877 |
| Grau Spiefsglanz | 187,56 | 0,848 | 99,05 | 462,00 | 22,78 | 2,680 | 0,08344 | 0,08310 | 0,08202 |
| Bleiglanz | 347,68 | 0,913 | 97,48 | 440,36 | 14,47 | 3,412 | 0,05087 | 0,05011 | 0,04856 |
| Zinkblende | 228,40 | 0,913 | 97,79 | 440,39 | 15,93 | 5,268 | 0,1231 | 0,1217 | 0,1184 |
| | 228,40 | 0,913 | 98,42 | 440,42 | 14,32 | 5,435 | 0,1230 | 0,1222 | 0,1199 |
| Rotheisenstein | 138,59 | 0,913 | 97,79 | 462,32 | 15,29 | 4,220 | 0,1667 | 0,1662 | 0,1617 |
| Speerkies | 223,82 | 0,913 | 97,79 | 440,39 | 15,22 | 5,759 | 0,1357 | 0,1349 | 0,1313 |
| Bergkrystall | 131,32 | 0,913 | 98,74 | 462,45 | 11,77 | 4,852 | 0,1916 | 0,1919 | 0,1891 |

Ein Vergleich der nach der obigen Formel berechneten Zahlen, wie sie in der Columne $T = T$ enthalten sind, mit denen in der Columne *s*, welche Regnault berechnet hat, macht es wahrscheinlich, dafs dieser sich derselben Gleichung bedient hat, da die Abweichungen der beiderlei Werthe bald nach der einen, bald nach der anderen Seite hin stattfinden und sehr klein sind.

Vergleichen wir die Zahlen der vorletzten Columne mit denen der letzten (für $T = 100^\circ$), welche die Werthe der spec. Wärmen unter der Voraussetzung berechnet enthält, dafs die Temperatur des erhitzten Körpers 100° gewesen sey, so zeigt sich in der That, dafs durch die Annahme einer höheren Anfangstemperatur des Körpers seine spec. Wärme nicht unwesentlich verringert wird, und dafs die Berücksichtigung dieser Fehlerquelle die Werthe den Neumann'schen Zahlen, wenn auch noch nicht gleich macht, so doch um einen beträchtlichen Theil näher bringt und dafs sie jedenfalls nicht vernachlässigt werden darf.

Neben dieser Fehlerquelle läfst sich bei den Regnault'schen Versuchen noch eine zweite nachweisen, die ihren Grund gleichfalls in der Einrichtung des Apparates findet. Der Fehler, welcher dadurch in das Endresultat eingeführt wird, läfst sich seiner absoluten Gröfse nach, in Ermangelung der dazu nöthigen Beobachtungen zwar auch hier nicht bestimmen, es läfst sich indefs aus Gründen, die angegeben werden sollen, schliefsen, dafs sein Einflufs ebenfalls kein unbedeutender ist.

Wenn bei Regnault's Versuchen das Thermometer in dem Dampfapparate eine constante Temperatur anzeigt wird das Mischgefäfs daruntergestellt, darauf der untere Blechauszug herausgezogen und der erhitzte Körper mit dem umschliefsenden Drahtkörbchen in die Flüssigkeit getaucht. Wenn der Auszug nun auch nicht so genau schliefst, dafs die Temperatur im Inneren auf 100° steigen kann, so liegt er der Wand doch so nahe an, dafs bei dem nöthigen raschen Herausziehen im Inneren des Apparates eine Luftverdünnung und gleich darauf ein plötzliches Eindrin-

gen kalter Luft stattfinden mufs, die ohne Frage eine Abkühlung nicht allein des ganzen Raumes, sondern auch des erhitzten Körpers zur Folge hat. Bei der Gröfse des Auszuges ist das Volumen der eindringenden kalten Luft kein unbedeutendes und die Abkühlung, welche sie bewirkt gewifs nicht zu vernachlässigen, wenn die Operation auch noch so rasch vor sich geht. Regnault sagt allerdings an einer Stelle seiner Arbeit [1]), dafs das Herablassen des Körpers höchstens eine halbe Sekunde daure und dabei folglich ein Temperaturverlust nicht stattfinden könne, an einer anderen Stelle [2]), ein paar Seiten weiter, giebt er aber nicht allein die Möglichkeit einer merklichen Abkühlung zu, sondern weist ihren Einflufs selbst mit Zahlen nach. Er sagt daselbst, dafs das aus feinem Messingdrahte gearbeitete Körbchen wegen seiner grofsen Oberfläche auf dem Wege aus dem Apparate in die Flüssigkeit sehr viel Wärme verliere, und um von diesem unabhängig zu werden, bestimmt er durch Versuche mit Metallen von bekannter specifischer Wärme den Wasserwerth des Körbchens mit dem es in der Flüssigkeit auftritt. Auf diese Weise ergiebt sich statt des berechneten Werthes 1,147 in Wirklichket nur 0,913. Wenn nun aber das Drathkörbchen schon einen solchen Wärmeverlust erleidet, so mufs unter allen Umständen auch der Körper Wärme verlieren, der nicht allein mit dem Drahtnetze in Berührung ist, sondern auch wegen der Maschen desselben selbst eine grofse freie Oberfläche und aufserdem in den meisten Fällen, wenn er nicht gerade ein Metall ist, ein bedeutend gröfseres Ausstrahlungsvermögen als das Messing besitzt. Wie grofs der Wärmeverlust des Körpers ist, läfst sich nicht bestimmen, da darüber keine Beobachtungen vorliegen, dafs er aber stattfindet und nicht vernachlässigt werden darf, geht aus den eigenen Angaben Regnaults hervor.

Eine Folge dieses Wärmeverlustes ist, dafs der erhitzte Körper mit einer geringeren Wärmemenge in Wirklichkeit

1) *Ann. de ch. et de ph. T.* 73 *p.* 23; Diese Ann. Bd. 51 S. 61.
2) *Ann. de ch. et de ph. T.* 73 *p.* 32; Diese Ann. Bd. 51 S. 68.

in die Flüssigkeit gelangt als sie der Temperaturangabe des Thermometers entspricht, es wird also die spec. Wärme in Folge der Nichtberücksichtigung dieses Fehlers zu klein gefunden.

In derselben Weise wie dieser Fehler wirkt die dritte bei Regnault's Versuchen nachweisbare Fehlerquelle, deren Einfluſs im Folgenden näher erörtert werden soll. Sie wirkt indeſs nicht bei allen Versuchen, hauptsächlich nur, da sie in der Vernachlässigung des Einflusses der inneren Leitungsfähigkeit begründet ist, bei den Versuchen über die spec. Wärme der Metalle, weil diese meistens in gröſseren Stücken angewandt sind. Hier beim Vergleiche der Resultate von Regnault und Neumann scheint sie nicht in Frage zu kommen, da Ersterer, so weit es sich aus seinen Angaben ersehen läſst, die hier betrachteten Körper in kleineren Stücken angewandt hat, so daſs der Einfluſs der inneren Wärmeleitungsfähigkeit auſser Acht gelassen werden darf.

Welcher der beiden hier in Frage kommenden Fehler überwiegt, ob also die angegebenen Werthe der spec. Wärmen zu verkleinern oder zu vergröſsern seyn werden, läſst sich mit Bestimmtheit nicht entscheiden, da darauf bezügliche directe Beobachtungen nicht vorliegen. Es scheint mir, daſs die Regnault'schen Zahlen zu groſs sind, daſs also der erstgenannte Fehler überwiegt, weil dieser die ganze Masse, der Wärmeverlust bei der immer noch kurzen Zeit des Hinabsenkens des Körbchens dagegen nur die äuſseren Theile des Körpers betrifft. Jedenfalls scheint mir aber mit Bestimmtheit aus diesen Betrachtungen zu folgen, daſs die Regnault'schen Zahlen nicht die Zuverlässigkeit beanspruchen dürfen, wie die welche Neumann beobachtet hat, weil dessen Methode von den erwähnten Fehlern frei ist.

Im Jahre 1861 ist von Regnault eine neue Arbeit veröffentlicht [1]), worin er die Resultate seiner Untersuchungen über die spec. Wärme von Körpern mittheilt

1) *Ann. de ch. et de ph. III. T.* 63.

welche erst in neuerer Zeit in gröfserer Menge und rein dargestellt sind. Es sind diefs: Magnesium, Lithium, Osmium, Rhodium, Iridium, Mangan, Nickel, Kobalt, Wolfram, Silicium und Bor.

Die bei dieser Untersuchung angewandte Methode ist dieselbe, wie die nach welcher die älteren Beobachtungen angestellt sind, auch der benutzte Apparat unterscheidet sich in der Einrichtung seines wesentlichen Theiles, des mit Luft erfüllten Hohlraumes, nicht von dem früheren. Es erreicht auch in diesem Apparate das Thermometer nicht die dem Dampfe des siedenden Wassers zukommende Temperatur von 100°, in den meisten Fällen ist sie um mehr als zwei, in mehreren sogar um mehr als drei Grade niedriger und zwar auch hier höchst wahrscheinlich aus demselben oben angeführten Grunde, dafs der Verschlufs des Hohlraumes kein vollständiger ist, da er hier in gleicher Weise wie dort bewirkt wird. Ich glaube deshalb mit Bestimmtheit behaupten zu können, dafs diese neueren Untersuchungen mit denselben, in der Einrichtung des Apparates begründeten Fehlerquellen, behaftet sind, welche den früheren nachgewiesen sind.

Wegen der Art, wie die Correctionen ermittelt und angebracht sind, welche in Folge der Ausstrahlung des Mischgefäfses in der Zeit vom Eintauchen des erhitzten Körpers bis zum Ende des Temperaturmaximums nöthig werden, ist auf eine im Jahre 1856 erschienene Arbeit verwiesen [1]). Hiernach ist die in der ersten Arbeit benutzte Correctionsmethode, die auf nicht genügend begründeten Voraussetzungen über den Werth der anzubringenden Correctionen beruhte, verlassen, es sind vielmehr Interpolationsformeln aufgestellt, welche erlauben, die Correction aus zwei unter ähnlichen Verhältnissen angestellten Versuchen zu ermitteln. Die Gestalt der Formeln stützt sich auf eine Reihe ausgeführter bestimmter Versuche, es scheint daher, dafs trotz der

1) *Ann. de chim. et de phys. III. T.* 46: Bestimmung der spec. Wärme von Osmium, Rhodium, Iridium, Aluminium, Kobalt, Nickel, Natrium und Kalium.

Unmöglichkeit, alle Versuche unter ganz gleichen Verhältnissen anzustellen, bei Berücksichtigung des im Allgemeinen immer geringen Werthes der Correctionen, bei den Versuchen Nichts dagegen zu erinnern ist, bei welchen die Zeit vom Eintauchen des Körpers bis zum Ende des Maximums, also namentlich die Dauer des letzteren eine geringe ist.

Es ist bereits im Vorhergehenden darauf hingewiesen, dafs bei einzelnen der älteren Versuche aufser den allen Versuchen gemeinsamen Fehlern noch ein neuer Fehler auftrete, der seinen Grund in der Vernachlässigung des inneren Leitungsvermögens der betreffenden erhitzten Körper habe, und dafs der Einflufs dieses Fehlers besonders grofs sey, wenn der Körper in sehr dicken Stücken angewandt werde. Dieser Vorwurf trifft die neueren Versuche Regnault's über die spec. Wärme der vorhin genannten Körper fast ohne Ausnahme, und zwar in einem besonders hohen Grade, weil hier der Einflufs des Fehlers noch durch andere schädliche Vorrichtungen wesentlich erhöht ist.

Für die genaue Ermittelung der spec. Wärme eines Körpers ist einer der Punkte, auf die es hauptsächlich ankommt, der, dafs nach dem Hineinwerfen des erhitzten Körpers in die Mischflüssigkeit eine vollständige Ausgleichung der Temperaturen möglichst rasch eintritt, damit die Correction auf ein Minimum reducirt wird, welche wegen der Ausstrahlung des Gefäfses anzubringen ist. Es mufs also das Maximum der Temperatur möglichst rasch erreicht werden, und damit diese für die Berechnung der spec. Wärme so wichtige Gröfse auch mit der gröfsten Sicherheit wirklich beobachtet werden kann, darf es nur äufserst kurze Zeit andauern.

Während des Maximums selbst ist die Temperatur des Körpers höher als die der Flüssigkeit, man beobachtet also ein zu niedriges Maximum, es würde in Wirklichkeit gröfser seyn, wenn die im Körper noch enthaltene Wärme sich gleich der Flüssigkeit mitgetheilt hätte. Damit man das wirkliche Maximum möglichst genau beobachten kann,

ist es geboten, den Körper so viel als möglich zu zerstückeln, denn je gröfser die Stücke desselben sind, desto mehr seiner ursprünglichen Wärme wird bei der Beobachtung des Maximums noch in ihm enthalten seyn, da die Zeit in welcher die Wärme aus dem Körper heraustritt von der Gröfse des zurückzulegenden Weges abhängt, desto gröfser wird also der Fehler seyn, welchen man begeht, wenn man das beobachtete Maximum als das wirkliche ansieht.

Dieser Fehler kann bei den Regnault'schen Versuchen nicht gering seyn, da z. B. die spec. Wärme des Magnesiums an einem einzigen Stücke von 92 Gr. Gewicht, also etwa 50 CC. Gröfse untersucht ist. Ebenso sind von ihm folgende Körper in grofsen Stücken untersucht: Osmium (ein Cylinder von 205 Gr.), Rhodium (ein Cylinder von 200 Gr.), Iridium (300 Gr. und 263 Gr.), Mangan (ein kugelförmiges Stück von 130 Gr.), Nickel (zwei und drei kugelige Stücke von zusammen 311 und bez. 230 Gr.), Kobalt (zwei kugelige Stücke von zusammen 114 Gr). Mag auch das Leitungsvermögen der Metalle immerhin sehr grofs seyn, so ist es doch jedenfalls nicht so bedeutend, dafs es einerlei ist, ob das Metall in kleinen oder grofsen Stücken angewandt wird. Aufserdem findet bei der Anwendung einzelner grofser Stücke, noch das Störende statt, dafs die Beweglichkeit der Flüssigkeit, also auch die rasche Vertheilung der übergetretenen Wärme darunter leidet.

Bei einzelnen Versuchen hat Regnault den Fehler, welcher aus den angegebenen Gründen bei der Anwendung grofser Stücke entsteht, noch vergröfsert, indem er durch eine zum Schutze des untersuchten Körpers gegen die oxydirende Wirkung des Wassers getroffene Vorkehrung den Wärmeaustausch zwischen Körper und Wasser noch mehr gehemmt hat. Er hat den Körper in einzelnen Fällen noch mit einer schweren Hülle aus Bleifolie umgeben, deren Gewicht z. B. bei dem 50 CC. grofsen Stücke Magnesium 48 Gr. betragen hat. Es kann diese Hülle dem Metalle unmöglich so angeprefst werden, dafs überall

eine volle Berührung stattfindet, es wird sich vielmehr stets eine mehr oder weniger dicke Luftschicht zwischen Metall und Bleihülle befinden, durch welche der Uebergang der Wärme aus dem Metalle in das Wasser nur erschwert werden kann und die Dauer des Maximums zum Nachtheile der Genauigkeit des Resultates vergröſsert werden muſs.

Ein ähnliches Verfahren ist auch angewandt, um das Wolfram, welches nur in Pulverform zur Verfügung gestanden hat, in einer zusammenhängenden Masse untersuchen zu können. Die zur Untersuchung angewandten 421 Gr. Wolfram, also mindestens 20 CC., sind in ein ringförmiges Gefäſs von Messingblech und 35 Gr. Gewicht gestampft und dann dem Versuche unterworfen. Nun leiten pulverförmige Substanzen zu einer gröſseren Masse vereinigt die Wärme an sich schlecht, und hier ist die Ausgleichung der Temperatur zwischen der des Wassers und der des Wolframs durch die Zwischenschicht von Messing noch wesentlich verschlechtert, so daſs der beanstandete Fehler auch bei diesem Versuche kein unbedeutender gewesen seyn kann.

In seiner ersten Arbeit über die spec. Wärme fester Körper hat Regnault selbst, wie das bereits oben angeführt ist, ganz analog ausgeführte Versuche für unzuverlässig erklärt, weil die Maximumstemperatur zu lange angedauert habe. Wie lange bei den neuen Versuchen das Maximum gewährt hat, läſst sich aus der Arbeit nicht ersehen, es fehlen die Angaben darüber, da aber die Verhältnisse ganz dieselben sind, so wird der Einfluſs der Maximumsdauer hier auch ein ähnlicher seyn, und es dürften daher die neuen Versuche in demselben Grade unzuverlässig seyn, wie jene von Regnault selbst beanstandeten.

Auſser dem hervorgehobenen Nachtheile einer Hemmung der Temperaturausgleichung zwischen dem erhitzten Körper, dessen spec. Wärme bestimmt werden soll, und dem Wasser, auf deren möglichst rasche Beendigung es so wesentlich ankömmt, hat das Einschlieſsen des Körpers in eine schwere Metallhülle noch den Nachtheil, daſs ein fremder

Körper durch seine Masse und seine spec. Wärme auch noch Einflufs auf die Vertheilung der Wärme erhält. Es wird dadurch die spec. Wärme desselben als neue Gröfse in die Gleichung eingeführt und die Zahl der Gröfsen durch welche die gesuchte spec. Wärme bstimmt wird vermehrt, während es doch im Interesse der Genauigkeit des Resultates liegt, diese Zahl so weit es irgend geht zu beschränken. Der Einflufs dieser Hülle, soweit ihre Masse und spec. Wärme in Betracht kommt, hängt von dem Verhältnisse ihres Wasserwerthes zu dem des untersuchten Körpers ab; ist dasselbe klein, so ist der Einflufs auf das Resultat ein geringer, er ist aber grofs sobald das Verhältnifs einen höheren Werth hat.

Die letztgenannte Fehlerquelle macht sich namentlich bei dem Versuche, die spec. Wärme des Lithiums zu bestimmen, geltend. Es steht Regnault von diesem Metalle nur eine Kugel im Gewichte von 0,945 Gr. zur Verfügung, mit welcher die Bestimmung der spec. Wärme in der folgenden Weise unternommen ist. Es wird die Kugel in die cylindrische Höhlung eines massiven Bleicylinders gelegt, diese daraus durch einen aufgesetzten und festgeschlagenen Bleistöpsel gegen aufsen vollständig abgeschlossen, hiernach die Masse beider Metalle, welche jetzt 111 Gr. wiegt, im Dampfapparate erwärmt und die Temperaturerhöhung in der Mischflüssigkeit beobachtet. Wenn die aus diesen Versuchen gefundene spec. Wärme 0,94 des Lithiums genau verbürgt wäre, so würde das Verhältnifs der Wasserwerthe des Lithiums und des Bleis ungefähr 1 : 4 seyn, da die von Regnault ermittelte spec. Wärme von Blei = 0,0314 ist; der Einflufs des Bleis bei der Ausgleichung der Temperaturen ist also ohne Frage zu grofs im Verhältnifs zu dem des Lithiums. Aufserdem befindet sich in diesem Falle das Lithium, also der Körper, auf den es bei der Wärmevertheilung hauptsächlich ankommt, in der allerungünstigsten Lage. Es ist von dicken Bleiwänden eingeschlossen, ein grofser Theil seiner Wärme geht erst sehr spät in die Flüssigkeit über und ein

Theil, wenn nicht alle, dient hauptsächlich dazu, das Temperaturmaximum längere Zeit constant zu erhalten, geht also, da er durch die unsichere Correctionsmethode ermittelt werden mufs, für die Beobachtung mehr oder weniger verloren.

Es scheint gewagt, nach einer solchen Methode, also gröfstentheils aus Correctionen, die spec. Wärme eines Körpers bestimmen zu wollen, und man mufs es jedenfalls als einen Zufall ansehen, dafs die Resultate der specifischen Wärme - Bestimmung des Lithiums (bez. 0,9421 0,9405, 0,9407) eine Uebereinstimmung haben geben können, die bis auf den 2300ten Theil des Mittelwerthes geht. Regnault scheint in dieser Uebereinstimmung der Resultate einen Beweis für die Zuverlässigkeit derselben zu sehen, obwohl die specifische Wärme des Bleis 0,0314 nur bis auf den hundertsten Theil verbürgt werden kann [1]), und ebenso darin, dafs das Product 37,8 aus der spec. Wärme 0,9408 des Lithiums und dem Aeq. Gewichte 40,18 innerhalb der Gränzen (etwa 36 bis 41) liegt, zwischen denen diefs Product bei den anderen Elementen schwankt.

An diesen mit dem Lithium angestellten Versuchen ist von Regnault Nichts zu errinnern gewesen, während er die unter ganz ähnlichen Verhältnissen mit dem graphitischen Bor ausgeführten Beobachtungen für unzuverlässig erklärt, weil unter drei Versuchen, neben zwei sehr scharf stimmenden, sich ein von diesen, offenbar durch ein Versehen, bedeutend abweichender findet [2]). Bei diesen Versuchen ist nämlich das mit Bor gefüllte Körbchen mit Bleifolie ausgefüttert, um das pulverige Bor zusammenzuhalten und mit einer sehr schweren Bleiplatte belastet gewesen, um dadurch das Untersinken im Wasser zu erleichtern. In dieser Menge Blei sieht Regnault hier den Grund für die Unzuverlässigkeit, denn er sagt a. a. O. wörtlich: »*Der Wasserwerth p* (Wasserwerth des Körbchens und des Bleis) *ergiebt sich also doppelt so grofs als der von M* (Gewicht

1) *Ann. de ch. et de ph. T.* 73, *p.* 40.
2) *Ann. de ch. et de ph. III, T.* 63, *p.* 36.

des angewandten Bors) *und dieser letztere enthält daher nothwendig die Summe der Fehler eines jeden Versuches.«*

Wenn man die verschiedenen Fehlerquellen berücksichtigt, mit welchen die Regnault'schen Beobachtungen behaftet sind und ihren bedeutenden Einflufs, so wird es zweifelhaft erscheinen, ob sie den Grad der Zuverlässigkeit beanspruchen dürfen, der ihnen bisher zuerkannt ist, und ob die erhaltenen Resultate, namentlich die neueren, zu allen den weitergehenden Schlüssen berechtigen, die Regnault daraus gezogen hat.

Göttingen, im Juli 1863.

## IV. *Ueber den Brechungsexponenten der Metalle; von G. Quincke.*

(Vorgetragen in der physikalischen Gesellschaft zu Berlin den 27. Nov. 1863.)

In einer früheren Abhandlung »Ueber die optischen Eigenschaften der Metalle« [1]) habe ich darauf aufmerksam gemacht, dafs der Brechungsexponent der Metalle, besonders des Silbers und des Goldes, kleiner als 1 seyn kann. Es folgte diefs aus den Constanten der elliptischen Polarisation des von diesen Metallen reflectirten Lichtes mit Hülfe der von Cauchy und Eisenlohr gegebenen Theorie, sowie direct aus meinen Versuchen über die Verschiebung von Interferenzstreifen durch dünne durchsichtige Metallblättchen.

Zu gleicher Zeit führt aber die Theorie der elliptischen Polarisation, wie sie von Cauchy, Beer und F. Eisenlohr entwickelt ist, darauf, dafs der Brechungsexponent

1) Monatsberichte der Berl. Acad. 16. März 1863. Pogg. Ann. Bd. 119 S. 368. Die Angaben der Seitenzahlen in vorliegendem Aufsatz beziehen sich auf die erstere Abhandlung.

der Metalle, ebenso wie der Extinctions-Coëfficient, eine Function des Einfallswinkels ist und zwar müfste (Vergl. S. 124 a. a. O.).

$$(4)\quad \begin{cases} \nu^2 = n^2 + \sin^2 J \\ \gamma^2 = g^2 + \sin^2 J. \end{cases}$$

seyn, wo $\nu$ und $\gamma$ den Brechungs- und Extinctions-Coëfficienten für den Einfallswinkel $J$, $n$ und $g$ dieselben Gröfsen für den Einfallswinkel 0° bezeichnen.

Man kann nun mit dem von mir angewandten Interferenzapparate (dessen Beschreibung a. a. O. S. 125) die Richtigkeit der ersten Gleichung (4) prüfen, indem man die Verschiebung der Interferenzfransen beobachtet, während man das in den Gang des einen interferirenden Strahlenbündels eingeschaltete Metallblättchen allmählich neigt, so dafs der Einfallswinkel der auffallenden Lichtstrahlen allmählich wächst.

Mit wachsender Neigung wird die Dicke der durchstrahlten Metallschicht und dadurch auch die Verschiebung zunehmen. Anderseits wird aber auch der Brechungsexponent $\nu$ wachsen, und für einen bestimmten Einfallswinkel $\eta$ wird $\nu = 1$, sobald $n < 1$ ist. Mit wachsendem Einfallswinkel wird also die Verschiebung zunehmen bis zu einer bestimmten Gröfse, und dann wieder abnehmen. Für einen bestimmten Einfallswinkel $\eta$ wird die Verschiebung 0, und dann folgt aus Gleichung (4).

$$(5)\quad \begin{cases} 1 = n^2 + \sin^2 \eta \\ n = \cos \eta \end{cases}$$

Es gäbe das, die Theorie als richtig angenommen, eine Methode ab, $n$ zu bestimmen, ohne die Dicke der Platte zu kennen. Dabei ist vorausgesetzt, dafs die Verschiebung der Interferenzstreifen, welche von der elliptischen Polarisation des durch die Metalle hindurchgegangenen Lichtes herrührt, 0 ist.

Nimmt man die von mir früher [1]) ausgesprochene und begründete Ansicht als richtig an, dafs die senkrecht zur Einfallsebene polarisirten Lichtstrahlen, deren Schwingun-

1) Monatsber. der Berl. Acad. 18. Dec. 1862 und 16. März 1863.

gen senkrecht zur Einfallsebene stehen, bei allen Einfallswinkeln dieselbe oder gar keine Phasenänderung erleiden, sondern dafs diefs blofs bei den parallel der Einfallsebene polarisirten Lichtstrahlen der Fall ist, so hat man nur die Verschiebung der Interferenzstreifen mit einem Nicol'schen Prisma zu beobachten, dessen Hauptschnitt parallel der Einfallsebene steht, das also nur Strahlen ins Auge gelangen läfst, die senkrecht zur Einfallsebene des Metalls polarisirt sind.

Der Natur der Sache nach lassen derartige Beobachtungen keine grofse Genauigkeit zu, denn wegen der grofsen Unterschiede in der Helligkeit des durch Luft, und des durch Metall gegangenen Strahles treten die Interferenzstreifen nur matt hervor, und man kann sich um 0,1 des Fransenabstandes bei der Beobachtung der Verschiebung wohl irren. Dazu kommt, dafs die Lichtstrahlen, welche in einer verticalen Ebene, senkrecht zur Reflexionsebene der dicken Planparallelgläser des Interferenzapparates polarisirt sind, überhaupt nur schwache Lichtintensität haben. Ebenso werden durch die elliptische Polarisation des von der Metallplatte durchgelassenen Lichtes die senkrecht zur Einfallsebene des Metalls polarisirten Strahlen weniger geschwächt, als die parallel zur Metall-Einfallsebene polarisirten Lichtstrahlen. Im Allgemeinen verdienen also die Beobachtungen an Strahlen, die parallel der Einfallsebene der dicken Planparallelgläser und senkrecht zur Einfallsebene der Metallplatte polarisirt sind, wegen der gröfseren Helligkeit das gröfsere Vertrauen und es mufs daher um den Einfallswinkel $J$ zu ändern, die Metallplatte um eine horizontale Axe gedreht werden. Jedoch sind auch der Controlle halber die Beobachtungen beim Drehen der Metallplatte um eine verticale Axe angestellt worden, sowie für Licht, das senkrecht zur Reflexionsebene der dicken Planparallelgläser polarisirt war.

Die folgende Tabelle giebt die Beobachtungen an einer Platte von blauviolettem Silber, die angeblich nach dem Foucault'schen Verfahren [1]) auf einer planparallelen

1) Le Verrier, *Ann. de l'observatoire imperiale* tome V, p. 179.

Glasplatte dargestellt und polirt war. Die Dicke betrug $0^{mm},000122$ bis $0^{mm},0001788$. Bei senkrechtem Auffall der Strahlen, für $J=0$, beobachtete ich eine Verschiebung der Interferenzstreifen von $-0,2$ oder $-0,3$ des Abstandes der Interferenzstreifen im Spectrum in der Nähe der Fraunhofer'schen Linie $F$. Das negative Zeichen der Verschiebung zeigt, dafs $n<1$ war. Die erste Columne enthält die Einfallswinkel, die Folgenden die beobachtete Verschiebung in Bruchtheilen des Fransenabstandes, je nachdem das Licht parallel (+) oder senkrecht (⊥) zur Einfallsebene der durchsichtigen Metallplatte polarisirt war. Für die zweite und dritte Columne war diese Einfallsebene horizontal, für die vierte und fünfte vertical. Gleichzeitig ist angegeben, ob das Gesichtsfeld hell oder dunkel erschien.

| Metall-Einfallsebene | horizontal | | vertical | |
|---|---|---|---|---|
| Gesichtsfeld | hell | dunkel | dunkel | hell |
| $J$ | + | ⊥ | + | ⊥ |
| 0° | — 0,25 | — 0,25 | — 0,25 | — 0,25 |
| 20 | — 0,35 | — 0,3 | — 0,3 | — 0,3 |
| 30 | — 0,3 | — 0,3 | — 0,4 | — 0,3 |
| 40 | — 0,4 | — 0,27 | — 0,2 | — 0,2 |
| 50 | — 0,3 | — 0,2 | — 0,2 | — 0,1 |
| 60 | — 0,2 | — 0,1 | — 0,1 | — 0,1 |
| 70 | | | — 0,1 | — 0 |

Man sieht daraus, dafs im Allgemeinen die Verschiebung für parallel zur Einfallsebene polarisirtes Licht um 0,1 des Fransenabstandes gröfser ist, als für Licht, senkrecht zur Einfallsebene polarisirt, oder das in Uebereinstimmung mit meinen Versuchen am Babinet'schen Compensator, die in der Einfallsebene polarisirten Lichtstrahlen den anderen voraus sind. Diese letzteren senkrecht zur Einfallsebene polarisirten Lichtstrahlen erlitten bei $J=70°$ keine Verschiebung mehr; es würde also nach Gleichung (5)

$$\eta = 70° \quad \cos\eta = n = 0,342$$

seyn. Dabei ist freilich vorausgesetzt, dafs die senkrecht zur Einfallsebene polarisirten Lichtstrahlen keine Aenderung

der Phase beim Durchgange durch die Metallplatte erleiden, was nach anderweitig von mir angestellten Versuchen nicht in aller Strenge richtig zu seyn scheint.

Es würde sich der Brechungsexponent $n$ nun ferner auch berechnen lassen aus der gemessenen Verschiebung $\Delta$ der Interferenzstreifen, wenn die Dicke des Metallblättchens $D$ bekannt ist. Bezeichnet $a$ den Abstand der Interferenzstreifen im Spectrum, $\lambda_m$ die Wellenlänge der betreffenden Farbe im Metall, $\lambda$ dieselbe in Luft, so ist [1])

$$(7) \quad \Delta = a \,.\, D\left(\frac{1}{\lambda_m} - \frac{1}{\lambda}\right)$$

oder wenn man den Brechungsexponenten des Metalls setzt

$$n = \frac{\lambda}{\lambda_m}$$

$$(8) \quad \Delta = a \,.\, \frac{D}{\lambda}(n-1)$$

woraus dann folgt

$$(9) \quad n = 1 + \frac{\lambda}{D} \,.\, \frac{\Delta}{a}$$

$\frac{\Delta}{a}$ ist die beobachtete Verschiebung der Interferenzstreifen gemessen in Vielfachen des Abstandes der Fransen. Sie ist positiv, wenn das Licht in dem Metallblättchen mit geringerer, negativ, wenn es in demselben mit gröfserer Geschwindigkeit als in Luft sich fortpflanzt.

Ist die Theorie richtig, so mufs sich aus den Gleichungen (5) und (9) für $n$ derselbe Werth ergeben.

Die Verschiebung der Interferenzstreifen im Spectrum des angewandten Apparates wurde nun in der Nähe der Fraunhofer'schen Linie $F$ beobachtet, so dafs man setzen kann

$$\lambda = 0^{mm},0005.$$

Die Verschiebung $\frac{\Delta}{a}$ betrug $-0,25$ des Fransenabstandes bei senkrechter Incidenz. An der Stelle, wo die Lichtstrah-

1) Vergl. Neumann, Gesetze der Doppelbrechung des Lichtes in comprimirten Körpern. Abh. der Acad. d. Wissensch. zu Berlin 1841, II S. 52.

len durch das Silber hindurchgegangen waren, wurde ein Iodkorn aufgelegt, um an dieser Stelle die Dicke des Silbers nach dem von Fizeau [1]) angegebenen Verfahren zu bestimmen. Es bildete sich eine Iodsilberschicht, die, wenn man senkrecht auf dieselbe sah, gelb im durchgehenden, rostbraun im reflectirten Licht erschien und von 3 dunklen Ringen umsäumt war. Es entspricht diefs einer Luftdicke von $0^{mm},001652$ bei den Newton'schen Farbenringen. Ist nun $\varepsilon$ die Dicke der entsprechenden Luftschicht der Newton'schen Farbenringe, von gleicher Farbe, wie die Iodsilberschicht, ist ferner

das Aequivalent des Silbers $Ag = 107,9$
» des Iodsilbers $JAg = 234,9$
die Dichtigkeit des Iodsilbers $d_1 = 5,602$
» des Silbers $d_2 = 10,55$
der Brechungsexponent des Iodsilbers $n_1 = 2,216$

so ist die gesuchte Dicke $D$ der Silberschicht, aus der sich das Iodsilber gebildet hatte

$$(10) \quad D = \frac{Ag}{JAg} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{1}{n_1} \varepsilon = 0,1086\,\varepsilon$$

oder für diesen speciellen Fall

$$D = 0,1086 \cdot 0^{mm},001652 = 0^{mm},0001788.$$

Setzt man in die Gleichung (9) diese Werthe für $\lambda$, $D$ und $\frac{\Delta}{a}$ ein, so ergiebt sich

$$n = 1 + \frac{0,0005}{0,0001788} \cdot (-0,25) = 0,323.$$

Die Uebereinstimmung dieses Werthes mit dem durch die andere Methode gefundenen ist weit gröfser, als die Genauigkeit der Versuche erwarten läfst.

Eine Bestimmung an einer anderen Silberplatte ergab

$$D = 0^{mm},00005985 \qquad \frac{\Delta}{a} = -0,05$$

und daraus nach Gleichung (9)

$$n = 0,6.$$

Der Unterschied zwischen beiden Bestimmungen 0,3 und 0,6 kann nicht befremden, da ich schon früher (a. a. O.

1) *Comp. rend.* *LII* 1, 1861 *p.* 274.

S. 128), darauf aufmerksam gemacht habe, dafs bei demselben Metall noch viel gröfsere Unterschiede in dem Brechungsexponenten vorkommen, und eine Metallplatte beim blofsen Liegen ihren Brechungsexponenten verändert, so dafs er selbst gröfser als 1 werden kann.

Es mag hier übrigens noch bemerkt werden, dafs Eisenlohr [1]) aus Jamin's Beobachtungen für die elliptische Polarisation des Lichtes von der Farbe der Fraunhofer'schen Linien *F*, das an einer polirten Silberplatte reflectirt worden war, mit Hülfe der Theorie abgeleitet hat

$$n = 0{,}4971$$

was zwischen den von mir gefundenen Werthen liegen würde.

Aus den beschriebenen Versuchen folgt also, *dafs der Brechungsexponent der Metalle von dem Einfallswinkel abhängt, und mit wachsendem Einfallswinkel zunimmt.*

---

## V. *Ueber die Krystallform des Löwig'schen Desoxalsäureaethylaethers; von Lothar Meyer,*

Privatdocent in Breslau.

---

Auf Wunsch des Hrn. Geh. Rath Prof. Löwig habe ich die Krystallform der von demselben entdeckten und als Desoxaläther oder Desoxalsäureäthyläther beschriebenen [2]) interessanten Verbindung bestimmt.

Die Kenntnifs dieser Krystallform erschien um so wünschenswerther, als die genannte Substanz in sehr naher Beziehung steht zur Traubensäure und dadurch zu den op-

1) Pogg. Ann. Bd. 104 S. 375.

2) Abhandl. d. schlesisch. Gesellsch. f. vaterländ. Cultur 1861 Heft 1 und 2; auch: Journ. f. pract. Chemie Bd 62 und 64.

tisch wie krystallographisch so merkwürdigen verschiedenen Modificationen der Weinsäure.

Wie bereits a. a. O. veröffentlicht, erhielt Löwig den Desoxaläther, als er versuchte, künstlich den Procefs nachzuahmen, durch welchen, unter der Einwirkung des Sonnenlichtes, in den Pflanzen aus der Kohlensäure die verschiedenartigen, im Verhältnifs zum Kohlenstoff weniger Sauerstoff und aufserdem noch Wasserstoff enthaltenden Säuren entstehen, welche durch weitere Reduction, aller Wahrscheinlichkeit nach, später in Zucker, Gummi, Stärke und Cellulose übergehen. Da höchst wahrscheinlich die im Pflanzenreiche so verbreitete Oxalsäure das erste Product in der Reihe dieser stufenweise fortschreitenden Reductionen ist, so konnte zunächst eine Verbindung dieser Säure zum Ausgangspunkte der Versuche genommen werden. Um den störenden Einflufs sehr kräftiger Affinitäten zu vermeiden, wurde eine möglichst indifferente solche Verbindung, der Oxalsäureäthyläther, gewählt.

Dieser, mit seinem etwa gleichen Volume eines 3 bis 4 Proc. Natrium enthaltenden Amalgames, unter Vermeidung jeder erheblichen Temperaturerhöhung, geschüttelt, verwandelt sich durch Abscheidung fester Umsetzungsproducte in eine dickflüssige zähe Masse, aus welcher durch wasserhaltigen Aether die neue Verbindung ausgezogen wird. Die ätherische Lösung wird durch wiederholtes Schütteln mit Wasser von anderen Zersetzungsproducten gereinigt und hinterläfst dann nach dem Verdunsten des Aethers, einen syrupartigen Rückstand, aus welchem sich der Desoxaläther in auffallend grofsen, schönen Krystallen abscheidet. Durch Umkrystallisiren aus Wasser von etwa 50°, in dem er sehr viel leichter löslich ist als in kaltem, kann derselbe sehr leicht vollkommen rein erhalten werden.

Es ist nach Löwig's Untersuchungen wahrscheinlich, dafs diese Verbindung nicht unmittelbar durch die Einwirkung des Natriumamalgames, sondern dafs zunächst eine Zwischenstufe, und aus dieser erst durch das mit dem Aether hinzugesetzte Wasser der Desoxaläther entsteht.

Dieser Stoff ist ausgezeichnet durch die Leichtigkeit, mit welcher er in grofsen, schönen Krystallen erhalten werden kann. Er ist löslich in Wasser [1]), Weingeist und Aether. Er schmilzt nach Löwig's Versuchen bei 85° und erstarrt wieder bei 80° C. Stärker erhitzt, erstarrt er entweder erst nach einiger Zeit oder freiwillig gar nicht mehr. Ebenso krystallisirt die auf dem Wassserbade zum Syrup eingedunstete wässerige Lösung schwierig oder gar nicht [2]). Trocken vorsichtig erhitzt, sublimirt die Verbindung unverändert.

Durch Wasser wird dieselbe weder in der Kälte noch in der Hitze verändert. Die Lösung schmeckt rein bitter, reagirt schwach sauer. Sie ist ohne Einwirkung auf die Polarisationsebene des Lichtes. Sie reducirt Silber und Kupfersalze unter denselben Bedingungen wie Frucht- und Traubenzucker. Durch verdünnte starke Mineralsäuren zerfällt die Verbindung bei 100° in Kohlensäure, Weingeist und Traubensäure, durch Alkalien in Weingeist und das Salz einer neuen, von ihrem Entdecker »desoxydirte Oxalsäure« oder Desoxalsäure« genannte, dreibasische Säure. Die ursprüngliche Verbindung mufs daher als Aethyläther dieser Säure betrachtet werden, obwohl sie sich von den Aethern der mit der Desoxalsäure nahe verwandten Pflanzensäuren durch ihre Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung des Wassers auffallend unterscheidet. Der Desoxaläther scheint durch diese, wie durch einige andere Eigenschaften, eine Uebergangsstufe von den gewöhnlichen zusammengesetzten Aethern zu den Zuckerarten zu bilden.

Seine Zusammensetzung wird dargestellt durch die Formel $(C_2H_5)_3C_5H_3O_8$, die der Desoxalsäure durch $C_5H_6O_8$ [3]).

1) 10 Theile Wasser lösen bei 16° C. 1 Theil (Löwig).

2) Wird aber diese syrupdicke Flüssigkeit mit Aether vermischt, so verwandelt sie sich sofort in ein Haufwerk kleiner Krystalle, die nach dem Abdunsten des Aethers fast vollständig trocken zurückbleiben. Durch Umkrystallisiren aus warmem Wasser erweisen sich dieselben als unveränderter Desoxaläther.

3) Nach den von Kekulé (*Bull. de l'Acad. d. Brux.* 2^me^ *sér. tom.* X *No.* 7; *Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd.* 117) und Wurtz (*Ann. chim.*

Der Aether ist bisjetzt nicht rückwärts aus der Säure erhalten worden.

Zur Bestimmung der Krystallform benutzte ich ein dem hiesigen Universitätslaboratorium gehöriges, zugleich als Goniometer eingerichtetes Spectrometer mit 6zölligem Kreise aus der rühmlichst bekannten Werkstatt von Dr. Meyerstein in Göttingen. Dies Instrument erlaubt, mittelst seiner Nonien noch die Ablesung von 10″, und giebt, wenn man durch Repetition oder eine andere geeignete Combination der Beobachtungen den Fehler der Excentricität eliminirt, wenigstens noch einzelne Minuten mit Sicherheit an. Diese Genauigkeit reicht weit hinaus über die Gränzen der im vorliegenden Falle erforderlichen, da verschiedene Krystalle derselben Substanz in den entsprechenden Winkeln aufserordentlich grofse Abweichungen zu zeigen pflegen, die unter Umständen bis zu 20′ und 30′ betragen können.

Man kann, wie das bereits aus Prof. Löwigs Angaben bekannt ist, aufserordentlich leicht, durch Abkühlen der etwa 50° C. warmen, nicht ganz gesättigten Lösung, sehr schöne und grofse Krystalle dieser merkwürdigen Verbindung erhalten; aber es ist aufserordentlich schwer, dieselben ohne Verzerrungen und Verschiebungen im Innern darzustellen. Die Flächen sind meistens sehr schön glänzend, geben aber in der Regel vielfache Spiegelbilder. Die etwas gröfseren Krystalle pflegen im Inneren trübe zu seyn und zeigen sehr häufig vom Mittelpunkte ausgehende Sprünge, die sich bei einigermafsen rascher, wenn auch unerheblicher, Temperaturänderung sehr vergröfsern und vermehren. Manchmal

*phys.* [3] *t.* 56; *Ann. Chem Pharm I. Suppl.*) in neuerer Zeit für die Sättigungscapacität der Säuren aufgestellten Grundsätzen mufs dieselbe typisch als »fünfatomig und dreibasisch« betrachtet werden:

$$\left.\begin{array}{c} C_5 H O_3 \\ H_3, H_2 \end{array}\right\} O_5$$

Nur drei Wasserstoffatome werden leicht durch Metalle vertreten. Doch existirt ein Bleisalz in welchem mehr als drei Atome Wasserstoff durch Metall ersetzt sind; wahrscheinlich wird sich, analog dem von Heintz (diese Ann. Bd. 111) entdeckten sechsfachen Bleisalz der Zuckersäure ein Bleisalz mit 5 Aequivalenten Blei erhalten lassen.

zerspringen dabei die Krystalle mit erheblicher Gewalt, meistens in der Richtung ihrer Spaltbarkeit. Alles dieses deutet darauf hin, dafs innere Spannungen bestehen, und die Theilchen sich nicht in stabilen Gleichgewichtslagen befinden, und hieraus erklärt sich die beobachtete Inconstanz der Winkel.

Durch mehrmaliges Umkrystallisiren in einem Gefäfse das zur Vermeidung von Erschütterungen auf warmem Wasser schwamm und mit diesem äufserst langsam abkühlte, habe ich zwar Krystalle erhalten, die aufserordentlich scharfe einfache Spiegelbilder gaben, durch welche die Winkel bei wiederholten Beobachtungen bis auf einzelne Minuten übereinstimmend gemessen werden konnten; doch ist es mir nicht gelungen, zwischen den entsprechenden Winkeln verschiedener Krystalle eine eben solche Uebereinstimmung zu erzielen.

Von den sehr zahlreich angestellten Beobachtungen habe ich den an kleinen, klaren, ausgezeichnet spiegelnden Krystallen angestellten den Vorzug gegeben vor solchen, die an schlechter und mehrfach spiegelnden oder im Inneren trüben Krystallen gemacht wurden.

Die Krystalle sind zwei- und eingliedrig mit einer Neigung der Hauptaxe gegen die eine Nebenaxe von 85° und einigen Minuten.

Fig. 5 Taf. V giebt die Lage der Flächennormalen in Neumann's Kugelprojection. Fig. 6 Taf. V zeigt in den ausgezogenen Linien die Quenstedt'sche Projection der Flächen auf eine der schiefen Endflächen c parallele Ebene und zugleich, in der Neumann'schen Weise, die Orte der Flächennormalen und, punktirt, die Zonenlinien in derselben Ebene. Die Projectionen der Flächen sind mit ungestrichenen, die Orte der zugehörigen Normalen mit den entsprechenden gestrichenen Buchstaben bezeichnet. Fig. 7 Taf. V endlich giebt die perspectivische Ansicht des Krystalles. Die Buchstaben sind überall nach dem Princip gewählt, das Rammelsberg in seinem Handbuch der krystallographischen Chemie befolgt hat.

Die gewöhnlich vorkommende Form ist die Combination eines rhombischen Prisma, $p$, mit der Abstumpfungsfläche seiner scharfen Seitenkanten, $a$, der auf letztere Fläche gerade aufgesetzten basischen schiefen Endfläche $c$ und dem Flächenpaar $q$ aus der Diagonalzone der letzteren. Seltener erscheint die vordere schiefe Endfläche, $r$, und noch seltener das vordere Augitpaar $\frac{1}{2}o$. Die Fläche $\frac{1}{2}o$ erscheint, wenn überhaupt, meist hemiëdrisch, und zwar habe ich dieselbe öfter rechts als links von der nach oben gekehrten Fläche $r$ beobachtet, nur ein oder zweimal symmetrisch auf beiden Seiten genannter Fläche. Ob mit dem Vorkommen dieser Hemiëdrie eine Verschiedenheit des optischen Verhaltens verbunden sey, ob die Lösung dieser hemiedrisch ausgebildeten Krystalle vielleicht doch die Polarisationsebene drehe und nur ihr Gemisch sich indifferent verhalte, habe ich bisjetzt nicht untersuchen können, da dieselben verhältnifsmäfsig selten vorkommen. Die Krystalle sind durch Vorherrschen der Fläche $c$ häufig tafelartig in der Richtung der beiden Nebenaxen ausgebildet und bilden alsdann meist annähernd quadratische Tafeln, deren schmale Seitenflächen durch $a$ und $q$ gebildet werden, während $p$ sehr zurücktritt. Die Flächen $c$ zeigen dabei manchmal eine Streifung parallel den vier Kanten wie von Andeutungen einer ganz flachen Pyramide.

Die Krystalle sind deutlich spaltbar parallel der Fläche $a$. Ein weniger deutlicher Blätterdurchgang scheint der vorderen schiefen Endfläche $r$ parallel zu gehen; wenigstens zeigen sich auch in dieser Richtung manchmal Sprünge in Folge rascher Temperaturänderungen.

Für das Verhältnifs der Axen und die Winkel der Kanten wurden durch Messung und Rechnung nachstehende Werthe erhalten:

$\frac{1}{2}o = \frac{1}{2}a : b : c$; $p = a : b : \infty c$; $a = a : \infty b : \infty c$;
$q = b : c : \infty a$; $c = c : \infty a : \infty b$;
$r = c : a : \infty b$;

$$a : b : c = 2{,}3529 : 1 : 1{,}8252.$$

Neigung von $c$ gegen $a : o = 85° \; 8'$

| | berechnet: | beobachtet: | |
|---|---|---|---|
| $p:p$ an $a$ | = 46° 12′ | | |
| » $b$ | = 133 48 | | |
| $p:a$ | = | *114° 4′ | 113° 6′ W. |
| $a:r$ | = | *130 49 | |
| $c:r$ | = 144 12 | 144 5 | |
| $c:a$ spitzer W. | = | * 85 8 | |
| » W. | = 94 52 | 94 54 | 94 52 W. |
| $c:q$ | = 118 48 | 118 42 | 118 48 W. |
| $q:q$ an $b$ | = 122 23 | 122 22 | |
| » $c$ | = 57 37 | | |
| $q:r$ | = 112 57 | | |
| $p:r$ | = 104 52 | | |
| $\frac{1}{2}o:r$ | = 133 40 | 133 52 | |
| $\frac{1}{2}o:c$ | = 115 21 | | |
| $\frac{1}{2}o:q$ | = 144 4 | | |
| $\frac{1}{2}o:a$ | = 128 17 | | |
| $\frac{1}{2}o:p$ | = 151 12 | 151 20 | |
| $p:q$ über der schärferen Kante $a:c$ | = 142 18 | 142 24 | |
| über der stumpferen: | = 145 17 | 145 20 | |

Die Temperatur schwankte während der Messungen zwischen 15 und 20° C.

Die mit einem Sternchen * bezeichneten Werthe wurden der Rechnung zu Grunde gelegt. Die mit nebenstehendem W sind Mittelzahlen aus einer Reihe von Beobachtungen die Hr. Oberbergrath M. Websky die Gefälligkeit hatte mit einem anderen Instrumente anzustellen.

Die Krystalle sind optisch zweiaxig und zwar negativ. Die Ebene der optischen Axen liegt senkrecht gegen die Hauptaxe $c$, also auch senkrecht gegen den Blätterdurchgang parallel der Fläche $a$. Parallel der letzteren geschliffene Platten von weniger als 1mm Dicke zeigen im Nörremberg'schen Polarisationsmikroskop die Lemniscaten. Hr. Oberbergrath Websky bestimmte, wozu mir die Einrichtung fehlte, den scheinbaren Winkel der optischen Axen annä-

hernd zu 40 bis 50°. Die Mittellinie derselben steht senkrecht auf der Kante $a:c$. Die Dispersion der Farben ist unbedeutend.

Breslau, im November 1863.

## VI. *Bestimmung der magnetischen Inclination zu Freiburg (im Breisgau) durch inducirte Ströme; von J. Müller.*

Im Laufe des letzten Jahres liefs ich für unser physikalisches Cabinet einen grofsen Elektromagnet anfertigen. Die beiden Eisenkerne, welche auf einer sie verbindenden 1½ Zoll dicken Eisenplatte aufgeschraubt sind, haben 3 Zoll im Durchmesser und eine Länge von 15 Zoll.

Die Drahtwindungen, welche diese Eisenkerne umgeben, habe ich, um eine möglichst vielseitige Verwendung zu sichern, auf 6 Spulen vertheilt, deren 3 auf jeden Eisenkern aufgeschoben werden.

Auf jeder dieser Spulen ist ein mit Wolle übersponnener Kupferdraht von 3$^{mm}$ Durchmesser in 11 Lagen aufgewickelt. Jede Drathlage hat 30, jede Spule also 330 Windungen. Das Gewicht einer jeden Spule beträgt 18 Pfund.

Die Drahtenden jeder Spule sind mit Klemmschrauben versehen, so dafs man dieselben in beliebiger Weise verbinden kann.

Diese Spiralen nun habe ich benutzt um die magnetische Inclination nach der Weber'schen Methode durch Messung der Ströme zu ermitteln, welche der horizontale und der verticale Theil des Erdmagnetismus in diesen Spiralen zu induciren im Stande ist, wenn dieselben in geeigneter Weise gedreht werden.

Zu diesem Zweck habe ich zunächst je zwei dieser Spiralen auf einen 3 Zoll dicken massiven Holzcylinder auf-

geschoben und dann die drei Holzcylinder sammt ihren Spiralen in einem starken hölzernen Rahmen *AB* befestigt, wie aus Fig. 3 Taf. IV Bd. CXIX zu ersehen ist.

Die Drahtenden der einzelnen Spiralen sind alsdann so verbunden, dafs sie gewissermafsen eine einzige Spirale von 1980 Windungen bilden.

Ist z. B. *a* die Schraubklemme, welche an dem innern Drahtende der Spirale 1 angelöthet ist, so ist alsdann das äufsere Drahtende von 1 mit dem inneren von 2, das äufsere von 2 mit dem inneren von 3 usw. verbunden. Würde also das Drahtende *a* mit dem positiven, das äufsere Drahtende der Spirale 6 mit dem negativen Pole irgend einer galvanischen Batterie verbunden, so würde der Strom nach einander in gleicher Richtung alle Windungen durchlaufen.

Der Rahmen *AB* ist nun um eine Axe drehbar, welche längeren Kanten parallel durch zwei starke Eisenstäbe gebildet wird, die in der Mitte der schmalen Seiten des Rahmens befestigt sind.

Das eine Ende dieser eisernen Umdrehungsaxe ist mit einem Kurbelarm und Handgriff *H* versehen, während das entgegengesetzte Ende der Axe mit einer Kugel endet, welche in einer halbkugelförmigen Höhlung des Querbalkens *CD* ruht.

Der Rahmen ist nun auf einem starken Gestell von Holz so angebracht, dafs man der eben besprochenen Umdrehungsaxe nach Belieben eine horizontale oder eine verticale Lage geben kann. Unsere Figur stellt den Apparat bei *verticaler Stellung der Umdrehungsaxe* dar, bei welcher die *Axen der Spiralen eine horizontale Lage* haben.

Wenn der Rahmen bei verticaler Stellung der Umdrehungsaxe um dieselbe gedreht wird, so ist es der *horizontale Theil des Erdmagnetismus*, welcher Ströme in den Spiralen inducirt. Um die Wirkung dieser Ströme zu zeigen und um die Stärke dieser Induction zu messen, wird das freie Ende der Spirale 1 durch Draht *ab* mit dem einen, das freie Drahtende der Spirale 6 durch den Draht *cd* mit

dem andern Ende der Drahtwindungen eines hinlänglich weit entfernten Multiplicators in Verbindung gesetzt.

Als Multiplicator diente bei meinen Versuchen das transportabele Magnetometer, welches ich in dem zweiten Bande meines Lehrbuchs der Physik beschrieben habe (5. Aufl. S. 281).

Der Apparat wurde so aufgestellt, dafs die Kante *MN* im magnetischen Meridian lag; es liegen alsdann auch die horizontalen Axen der 6 Spiralen im magnetischen Meridian, wenn man dem Rahmen *AB* die in unserer Figur dargestellte Stellung giebt.

Wird von dieser Stellung aus, die Kurbel in der Richtung des Pfeils bewegend, der Rahmen mit den Spiralen um 180° gedreht, so dafs die Spiralen 1, 3 und 5, welche jetzt die vorderen sind, die hinteren werden, so wird dadurch der Magnetstab des Magnetometers um einen kleinen Winkel (wir wollen annehmen nach der linken Seite hin) abgelenkt, und diese Ablenkung wird mittelst der bekannten Spiegelvorrichtung durch ein Fernrohr abgelesen.

In dem Augenblick, in welchem der Magnetstab von seiner Excursion zurückkehrend die Gleichgewichtslage wieder passirt, wird der Rahmen mit den Spiralen durch eine rasche Drehung von 180° in entgegengesetzter Richtung wieder in seine ursprüngliche Lage zurückgebracht und dadurch ein Strom inducirt, dessen Richtung der des zuerst inducirten entgegengesetzt ist; dadurch wird eine Ablenkung nach der rechten Seite hervorgebracht, welche gröfser ist als die zuerst beobachtete, weil ja der Inductionsstrom jetzt nicht mehr auf den ruhenden, sondern auf den bereits nach der rechten Seite hin sich bewegenden Magnetstab wirkt.

Wenn der Magnetstab von dieser Excursion zurückkehrend wieder die Gleichgewichtslage passirt, werden die Spiralen abermals in der Richtung des Pfeils um 180° gedreht und dadurch eine vergröfserte Ablenkung nach der Linken hervorgebracht usw.

Wenn man eine Zeit lang auf diese Weise fortfährt

jedesmal um 180° zu drehen, wenn der Magnetstab eben die Gleichgewichtslage passirt, so erreichen die Ausschläge bald ein Maximum; von nun an werden die Theilstriche der Scale notirt, welche am Fadenkreuz des Fernrohrs erscheinen, wenn nach der entsprechenden Drehung der Spiralen um 180° der Magnetstab seine Gränzlage auf der einen und auf der anderen Seite erreicht hat.

Eine solche Versuchsreihe gab folgende Resultate:

| | Ausschlag | |
|---|---|---|
| | links. | rechts. |
| | 409,6mm | 428,5mm |
| | 409,6 | 428,3 |
| | 409,7 | 428,8 |
| | 409,0 | 429,0 |
| | 409,0 | 429,0 |
| | 409,0 | 428,5 |
| im Mittel | 409,3 | 428,5 |

Im Mittel oscillirt also der Magnetstab zwischen den Theilstrichen 409,3 und 428,5.

*Der Ausschlagsbogen* 428,5 — 409,3 = 19,2 *ist der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus proportional und kann als Maafs derselben dienen.*

Um in ähnlicher Weise ein Maafs für den *verticalen Theil des Erdmagnetismus* zu erhalten, wurde die Umdrehungsaxe des Rahmens *AB* horizontal gelegt, indem der Theil der Axe, an welchem die Kurbel *H* befestigt ist, aus dem horizontalen Balken *GL* herausgenommen und in eine halbkreisförmige Rinne in dem Querbalken *EF* hineingelegt wurde.

Bei dieser Lage der Umdrehungsaxe wird nun der Rahmen zunächst so gestellt, dafs die Axen der Spiralen *vertical* stehen. Von dieser Lage ausgehend wird dann die Axe mit dem Rahmen nach einer Seite um 180° hin und im entsprechenden Moment wieder um 180° zurückgedreht.

In dieser Weise fortfahrend wird die Beobachtung ganz in derselben Weise ausgeführt, wie wir sie oben kennen

lernten. Die Gränzlagen, zwischen welchen in diesem Fall der Magnetstab des Multiplicators schwankte, waren

| | links. | rechts. |
|---|---|---|
| | 397,2$^{mm}$ | 438,5$^{mm}$ |
| | 307,3 | 438,2 |
| | 397,1 | 438,0 |
| | 396,8 | 438,0 |
| | 397,0 | 438,2 |
| | 397,2 | 438,2 |
| Mittel | 397,1 | 438,2 |

woraus sich im Mittel ein Ausschlag von 41,1$^{mm}$ ergiebt, *welcher ein Maafs ist für den verticalen Theil des Erdmagnetismus.*

Nun aber ist die *trigonometrische Tangente der Inclination* gleich dem Quotienten, welchen man erhält, wenn man die verticale Intensität des Erdmagnetismus durch die horizontale Intensität dividirt, es ist also

$$\tan i = \frac{41,2}{19,2} = 2,1406$$

also

$$i = 64^{0}\ 57,6'.$$

Vergleichen wir dieses Resultat mit Lamont's Messungen (Magnetische Karten von Deutschland und Bayern, München 1854)!

Nach Lamont's Bestimmungen ist die Inclination in Freiburg um 28,9' gröfser als in München. Im Jahre 1852 betrug die

Inclination zu München 64° 54'

also die Inclinaton zu Freiburg 65° 22,9'.

Nach Lamont's Bestimmungen beträgt aber gegenwärtig die Abnahme der Inclination in 10 Jahren 25', in 11 Jahten also 27,5', wonach sich für 1863 die Inclination von Freiburg gleich.

64° 55,4'

ergiebt, was von meinem Resultat nur um 2,2 Minuten abweicht.

(Freiburg im März 1863).





## VII. *Notiz über eine einfache Vorrichtung zur Bestimmung der magnetischen Declination;* *von Dr. Mauritius,*

Gymnasial-Lehrer in Coburg.

Vor einem Jahre etwa legte ich Hr. Geh. Hofrath Gerling in Marburg, dessen Assistent ich damals war, einen Plan zur Bestimmung der magnetischen Declination vor. Leider gelangte ich wegen Abreise von dort nicht mehr zur Ausführung desselben.

Ich erlaube mir ihn mit wenigen Worten hier anzudeuten, weil vielleicht Jemandem damit gedient ist einen Theodolithen mit einem Aufwand von wenigen Thalern in ein zur Declinationsbestimmung ausreichendes Meſsinstrument zu verwandeln.

Man denke sich an die beiden Stützen des Theodolithen zwei V-förmige Messingstreifen mit der Spitze nach unten angeschraubt, so daſs die Ebene der VV mit dem Rohr parallel ist. Die Verbindungslinie von je zwei der oberen Enden ist parallel der Fernrohraxe und es läſst sich einrichten, daſs eine davon gerade über dem Objectiv des horizontal gestellten Rohres in einiger Entfernung davon weggeht. Wird diese Linie durch einen festen Draht gebildet (welcher also in zwei gegenüberliegende Enden der VV eingelegt ist), so kann man an demselben eine Röhre aufhängen, die am unteren Ende ein Kästchen trägt Dieses soll gerade vor dem Objectiv hängen und in ihm soll hinter einem Fensterchen der kleine Magnet mit dem Spiegel schweben. Der Coconfaden geht durch die Röhre. Der Spiegel ist durch ein Stückchen planparalleles Glas gebildet was auf beiden Seiten versilbert und mit dem Magnet fest verbunden ist. Man kann dieſs System mit Hülfe zweier oben und unten befindlicher Häkchen in zwei Lage aufhängen. Das Ocular des Fernrohrs muſs die Beleuchtung der Fäden erlauben. Es geht mit Hülfe eines

mit Wachs schief vorgeklebten Deckgläschens, wie es Kowalski zuerst anwandte, doch ist nach allgemeiner Erfahrung die Anwendung von Prismen zur Beleuchtung bequemer.

Blickt man in das Fernrohr, so wird man neben den Fäden ein Bild derselben schweben sehen, wenn die Collimationslinie normal zur Ebene des Spiegels ist. Man kann diese Lage durch Drehen des Limbus herbeiführen. Wäre nun die Fläche des Spiegels parallel der magnetischen Axe, so würde die Collimationslinie auf einen Punkt des Horizonts weisen, welcher um 90° vom magnetischen Nordpunkt abläge. Man könnte das Azimut desselben also an irgend einem terrestrischen Objecte mit bekanntem Azimut ermitteln.

Die Ebene des Spiegels macht aber im Allgemeinen einen gewissen Winkel mit der magnetischen Axe. Man hängt daher den Magnet verkehrt auf, schlägt das Rohr durch, hängt die Röhre in die andern Enden der VV ein und stellt jetzt die Collimationslinie normal zur zweiten reflectirenden Fläche des planparallelen Glases. Die Linie, welche den Winkel zwischen den beiden erhaltenen Richtungen der Collimationslinie halbirt, weist auf den magnetischen Nordpunkt, und man findet zugleich das Zweifache des Winkels, welche die magnetische Axe mit der Spiegelebene macht.

Es würde über die Gränzen einer Notiz hinausgehen, wenn ich ausführlicher die zahlreichen Combinationen besprechen wollte, welche sich zur Bestimmung der Ungenauigkeitsconstanten des Apparats in den Beobachtungen gegeben finden. Eine kurze Ueberlegung wird lehren, daſs auch der Einfluſs der stählernen Axenenden des Rohrs, selbst wenn sie ansehnlich magnetisch wären, einerseits sich eliminirt, anderseits der Gröſse nach bestimmt werden kann.

Für den Gebrauch wäre es gut, die Stützen nicht zu schwach zu wählen. Dem Kästchen würde ich als Boden einen herausziehbaren Schieber geben und die Röhre zum Zusammenschieben einrichten. Dann könnte man den frei her-

aufhängenden Magnet leicht behandeln. Auch dürften sich kleine Druckklemmen aus Bequemlichkeitsrücksichten besser empfehlen als Häkchen. Zum Beruhigen würde sich mit großem Vortheil die kürzlich in diesen Annalen von mir beschriebene Beruhigungsmethode anwenden lassen.

Ein auf die angegebene Weise armirter Theodolith unterscheidet sich also von dem Lamont's dadurch, dafs der Magnet excentrisch angebracht ist, was durch den Parallelismus der magnetischen Meridiane für zwei wenig von einander entfernte Punkte möglich gemacht ist.

---

## VIII. *Ueber zwei neue Meteoritenfälle; von G. Rose.*

(Aus d. Monatsberichten d. K. Acad. 1863, October.)

In der Gesammtsitzung von 22. October d. J. berichtete G. Rose nach Mittheilungen, die ihm Hr. Prof. Grewingk in Dorpat gemacht hatte, über zwei neue Meteoritenfälle.

Der erste derselben ereignete sich am 2. Juni d. J. Morgens 7 Uhr auf dem Gute Buschhof bei Jacobstadt in Kurland. Der Meteorit fiel bei ganz wolkenlosem Himmel und völliger Windstille mit starkem Brausen und heftigem Knall; nach Angabe der in der Nähe befindlichen Hirtenknaben ging er ihnen in schräger Richtung von NW. nach SO. über die Köpfe, und schlug in die Erde etwa $1\frac{1}{2}$ Fufs tief ein. Der Stein, $12\frac{1}{2}$ Pfund Russ. an Gewicht, befindet sich jetzt im Besitz des Hrn. v. Kieter, Präsidenten des baltischen Domainenhofes, der einen Theil davon dem mineralogischen Cabinet der Universität Dorpat als Geschenk überlassen will. Nach Prof. Grewingk hat er in seiner Beschaffenheit grofse Aehnlichkeit mit dem 1855 auf der Insel Oesel gefallenen Meteorstein, gehört also nach

der von dem Verfasser vorgeschlagenen Eintheilung der Meteorite zu der grofsen Abtheilung der Chondrite und zwar zu den weifsen undeutlich krystallinischen.

Der zweite Fall ist noch interessanter und grofsartiger. Er ereignete sich am 8. Aug. d. J. Mittags 12¼ Uhr beim Pastorat Pillistfer im Fellin'schen Kreise Nord-Livlands an folgenden acht in einer Richtung von ungefähr NNW. nach SSO. auf einander folgenden Punkten, deren äufserste in gerader Richtung 11 bis 12 Werst von einander entfernt sind: Kurla-Krug, Heuschlag des Ankoma-Gesindes, Badstube Pöllenikko, Gesinde Takki, Hofsfeld des Gutes Wolmarshof (2 Steine), Dorf Unnakfer. Die beiden erstgenannten Punkte gehören zum Gute Cabbal, die übrigen zu Wolmarshof. Drei der gefallenen Steine sind bisher gefunden, der Ankoma-Stein, der Kurla-Stein und der Wabhe-Stein; man hat aber Hoffnung noch mehrere zu finden. Der Fall ereignete sich bei unfreundlichem Wetter, NNW.-Wind und einer Temperatur von 8° bis 10° R.; ebenfalls mit einer Detonation, die mehr oder weniger stark in einem Umkreise von ungefähr 17 Werst im Halbmesser gehört wurde; eine Feuererscheinung wurde wie bei dem vorigen nicht wahrgenommen.

1. Der Ankoma-Stein machte ein Loch in dem Boden das unter einem Winkel von ungefähr 75° von NW, nach SO. gerichtet war und 14" schwarze Moorerde, 5" graublauen Lehm und 8" mit Lehm verbundenes Kalkgerölle durchsank. In der letzten Schicht steckte der Stein mit der Spitze voran so fest, dafs er nur mit einem Brecheisen herauszuholen war. Er hat im Allgemeinen die Gestalt einer sechsseitigen Pyramide, deren Höhe 6" und deren Basis im Minimum 8¾" mifst. Die schwarze Rinde ist matt rauh und dünn. Das Gewicht des Steins beträgt gegenwärtig 28,77 Pfd., doch mag er ursprünglich 30 Pfd. gewogen haben; sein specifisches Gwicht = 3,663. Der Stein befindet sich jetzt im Besitz des Gutsherrn, Baron Richard Vietinghoff, der ihn behufs der Untersuchung nach Dorpat geschickt hat.

nur 2. Der Kurla-Stein war mit Geräusch in einen Schweinestall gefallen; die Bewohner des Kruges bemerkten dabei eine über dem Dache des Stalles aufsteigende Staubwolke, erwarteten in der Meinung der Blitz habe eingeschlagen, das Ausbrechen von Feuer, beruhigten sich aber, da weiter nichts erfolgte damit, dafs es ein kalter Schlag gewesen sey. Beim Oeffnen des Schweinestalls stürzten die Bewohner desselben angstvoll heraus. Diese Vorgänge wurden am Abend desselben Tages im Pastorat Pillistfer, wo man die Detonationen ebenfalls vernommen hatte, bekannt, und veranlafsten den Quintaner August Mickwitz Besitzer einer Mineraliensammlung und fleifsigen Besucher der Universitätssammlung, einen Meteorsteinfall vorauszusetzen und nach dem Stein zu suchen. Mit einem Licht in der Hand wurde der finstere, unsaubere Schweinestall durchmustert, und in dem Unrath der Stein richtig gefunden. Nach der Lokaluntersuchung war der Stein an der Hinterseite des Gebäudes in den untern, ein Paar Fufs über der Mauer gelegenen Theil des Daches gedrungen, hatte $1\frac{1}{2}$ Dachziegel mitgenommen, vom Sparrenholz ein Stück fortgerissen, eine Latte (Querholz zum Auflegen der Ziegelnase) auf ein Fufs Länge zertrümmert und war dann durch das ziemlich starke Bretterdach des Schweinestalls in denselben eingedrungen. Die Gestalt des Steines ist ungefähr die einer vierseitigen sich sehr allmählich verjüngenden nach oben sich etwas krümmenden Pyramide mit quadratischer Grundfläche. Seine Höhe beträgt $8\frac{1}{4}''$ die Seiten der Grundfläche sind 4 bis 5″ lang, die Flächen ziemlich eben, die Rinde wie beim vorigen. Er wiegt 16,79 Pfund und hat ein spec. Gew. = 3,620. Er soll dem mineralogischen Cabinet der Universität vermacht werden.

3. Der Wahhe-Stein wurde am 19. Aug. von einer Bauersfrau dem Pastor E. Mickwitz zugestellt, von diesem dem Kurator der Universität, Graf Keyserling überreicht und dann dem mineralogischen Cabinet der Universität einverleibt. Er war auf ein ziemlich hochgelegenes Brachfeld des Wolmarshof'schen Gesindes Wahhe gefallen, und durch-

drang dabei 9" bräunliche Ackerkrume und 2" festes Kalkgerölle. Im letztern lag er mit dem spitzen Ende nach oben, und hatte nach unten das Kalkgeröll zertrümmert. Seine Gestalt ist mehr plattenförmig; seine gröfste Fläche bildet ein unregelmäfsiges Fünfeck, dessen gröfste Breite 4" beträgt. Die sonst schwarze matte Rinde ist hier glänzend und irisirend. Man bemerkt an der gröfsten Fläche wie einer kleinern, starke Eindrücke oder gegen ½" tiefe Löcher. Der Stein wiegt jetzt 3,626 Pfund, mag aber bei seiner Ankunft 4 Pfund betragen haben; sein spec. Gew. = 3,565.

Zwölf Meilen weiter südlich von dem südlichsten Punkte, dem Dorfe Unnakfer, wo die angeführten Meteorsteine gefallen sind, hat man ebenfalls an dem 8. Aug. Mittags 1 Uhr beim Schlosse Ermes noch zwei Meteoriten bemerkt. Der Besitzer des Gutes Ermes, Eduard v. Walter und dessen Bruder Hermann, beobachteten nämlich, wie zwei Meteorite ohne Geräusch in den Awoting-Moor fielen, der 6 Werst vom Hofe belegen ist. Diese Nachricht traf in Dorpat ein, bevor daselbst der Pillistfer'sche Fall bekannt geworden war. Genauere Mittheilungen sind noch nicht eingegangen.

Die drei Pillistfer'schen Steine passen nicht aneinander sie unterscheiden sich etwas im specifischen Gewichte und in der Beschaffenheit der Rinde. Ersteres wäre bei einem Gemenge ungleichartiger Theile nicht auffallend, wohl aber letzteres, was daher wohl noch der genaueren Untersuchung bedürfen möchte. Prof. Grewingk hat dem Verfasser eine kleine Probe von einem dieser Steine geschickt mit der Bitte ihn mit anderen Meteoriten zu vergleichen, und seine Stellung im System zu bestimmen, wozu die Dorpater Meteoritensammlung nicht hinreicht. Letzterer fand ihn soweit man nach der kleinen überschickten Probe urtheilen konnte, den Meteorsteinen von Erxleben und Klein-Wenden so ähnlich, dafs er von ihnen nicht zu unterscheiden seyn möchte. Er gehört also auch zu den Chondriten, aber zu der ersten Abtheilung derselben. Die Pro-

fessoren Grewingk und Schmidt sind nun mit einer näheren Untersuchung dieser Meteoriten beschäftigt.

---

## IX. *Ein Hand- und Reisespectroskop; von Dr. R. Th. Simler*[1]),

Docent der Chemie in Bern.

(Besprochen und vorgewiesen in den Sitzungen der naturforschenden Gesellschaft in Bern vom 7. Februar und 14. März 1863).

---

Seit die Chemie dem bewunderungswürdigen, praktischen Scharfblicke der Forscher Kirchhoff und Bunsen in Heidelberg eine ganz neue Richtung qualitativer Untersuchung — die genannte *Spectralanalyse* — verdankt, sind auch die dazu erforderlichen optischen Apparate, die *Spectroskope*, rasch der Vervollkommnung und zum Theil der Vereinfachung entgegen gegangen. Kirchhoff und Bunsen haben zunächst selbst ihrem ursprünglichen Apparate eine neue handlichere Gestalt gegeben und es nicht nur ermöglicht, die hellen und dunkeln Linien der verschiedenen Spectren mit Hülfe einer Scale hinsichtlich ihrer gegenseitigen Abstände zu prüfen, sondern auch gleichzeitig zwei verschiedene Lichtquellen durch Superposition ihrer Spectren zu vergleichen. Der Apparat hat in der berühmten optischen Werkstätte von Steinheil in München eine Gestalt erhalten, die, was Eleganz und Vollkommenheit betrifft, nicht viel zu wünschen übrig läfst; der Preis dagegen ist, wie begreiflich, ein solcher, dafs der einzelne Laborant sich dessen Anschaffung meist versagen mufs. Auch ist er nicht geeignet, viel herumgetragen zu werden, sondern hat mehr die Bedeutung eines stationären Instrumentes für chemische und physikalische Laboratorien.

1) Aus den Berner Mittheilungen No. 528 S. 62 vom Hrn. Verf. übersandt. P.

Kaum drang die Nachricht von der Spectralanalyse nach Paris, als auch die Pariser optischen Werkstätten sich mit der Construction von Spectralapparaten befafsten. Das physiologische Institut ber Universität Bern besitzt einen solchen von Ruhmkorff, der gewissermafsen eine vereinfachte Miniaturausgabe des Kirchhoff-Bunsen'schen darstellt [1]).

Während aber alle bisherigen Instrumente das Gemeinsame hatten, Standinstrumente zu seyn, die eine Beobachtung nur in horizontaler Richtung gestatteten, war es Professor Mousson in Zürich vorbehalten, dem Spectralapparat eine Form zu geben, welche ihm den grofsen Vortheil der leichten Tragbarkeit und Verwendung nach allen Richtungen des Raumes sicherte [2]). Er nannte ihn einfach »*Spectroskop*«. Dieses Spectroskop bestand aus einem Messingrohr von 12 Zoll Länge, an dessen einem Ende die Spalte, am andern das Flintprisma sich befand. Um das Instrument noch portativer zu machen, schlug Mousson vor, die Röhre nach Art der Perspective zusammenschiebbar zu fertigen, welcher Vorschlag auch alsbald von den Mechanikern Herrmann und Studer in Bern ausgeführt wurde.

Da alle Complicationen durch Scalen und Fernröhren wegfielen, so konnte das Instrument zu dem civilen Preise von 40 Fr. gefertigt werden; das Haupthindernifs einer Popularisirung der Spectraluntersuchen, der hohe Preis der Instrumente nämlich, war somit beseitigt. Das Mousson'sche Spectroskop zeigt die stärkern der Fraunhofer'schen Linien deutlich und reicht daher für die gewöhnlichen qualitativen Untersuchungen im Laboratorium vollkommen aus. Mit Hülfe einer Baumschraube läfst es sich an jedem Holzstativ festmachen, und kann alsdann nach jeder Lichtquelle gerichtet werden.

Da ein Flintprisma, wenn es nicht ganz vorzüglicher

1) Siehe Abbildung in Valentin: Der Gebrauch des Spectroskopes S. 18

2) Mousson, *Resumé de nos connaissances sur le spectre. Archive des sciences de la bibliothèque universelle. Genève Mars* 1861.

Qualität ist, immerhin ein nur schmales Spectrum erzeugt, und die Zerstreuung bei jeder andern Flintglassorte wieder eine andere wird, so hat man es auch wohl durch ein Hohlprisma, das mit Schwefelkohlenstoff gefüllt ist, ersetzt, oder ein zweites zerstreuendes Prisma zugefügt; man hat schliefslich auch noch, wie bei dem Kirchhoff-Bunsen'schen Apparate, eine Scale zur Verification der hellen Linien seitlich neben dem Prisma angebracht, deren Bild alsdann durch Reflexion an der dem Auge zugekehrten Prismenfläche gleichzeitig mit dem Spectrum gesehen wird.

Diese Zuthaten haben das Spectroskop allerdings etwas vervollkommnet, aber dessen Preis auch wieder dermafsen erhöht, dafs er mir mit den vermehrten Leistungen dennoch nicht in richtiger Proportion zu stehen scheint. Zugleich machen mehrere Prismen und eine Scalenvorrichtung einen gröfseren Kasten am Ocularende der Röhre nothwendig, wodurch das Instrument viel von seiner Handlichkeit verliert.

Ein solches Spectroskop mit zwei Flintprismen, dem hiegen physikalischen Cabinet angehörend, habe ich vielfach gebraucht, unter Anderem zu meinen Untersuchungen über Absorption und Fluorescenzerscheinungen beim Chlorophyll und ich hatte in Folge dessen Gelegenheit, einen wesentlichen Mangel aller bisherigen Spectroskope lebhaft zu empfinden.

Dieser Mangel besteht in der *Schwierigkeit* des *Einvisirens der Lichtquelle*. Da die Spalte oft kaum $\frac{1}{7}$ Millimeter weit geöffnet ist und man unter einem zur optischen Axe des Instrumentes spitzen Winkel in die Ocularöffnung sieht, der Lichtquelle also förmlich den Rücken kehrt, so ist diese Schwierigkeit des Einvisirens leicht begreiflich, namentlich wenn das Rohr nicht an ein Stativ festgeschraubt ist, sondern von der Hand getragen wird.

Am allermeisten empfand ich diesen Uebelstand, wenn ich das elektrische Licht Geissler'scher Röhren, oder die Fluorescenzkegel verschiedener Substanzen spectroskopisch betrachten wollte.

Nichts war mir daher näher liegend als die Frage: *Sollte sich das Spectrum nicht in die Axe des Instrumentes zurückbringen lassen, so, dafs es gerade über die Spalte projicirt wird und auf diese Art Auge, Spalte und Lichtquelle in ein und derselben Geraden sich befinden?*

Diese Frage konnte nicht gestellt werden, ohne die Antwort augenblicklich in doppelter Weise zu erhalten.

Die Optik bietet uns nämlich zwei Mittel dar, die praktisch verwendbar sind, um einen Lichtstrahl von seiner Bahn abzulenken: 1) das Princip der *Reflexion* oder Spiegelung, 2) das Princip der *Refraction* oder Brechung. Das erstere ist offenbar das einfachere; die Anwendung des letzteren ist nichts anderes als die umgekehrte Aufgabe der Achromasie; ein zerstreutes Lichtbündel soll ohne Aufhebung der Zerstreuung in die ursprüngliche Richtung des unzerstreuten Lichtstrahles abgelenkt werden.

Es ist klar, dafs diese Aufgabe nur mit Hülfe *achromatischer Prismen* gelöst werden kann, da ein *vollkommen* achromatisches Prisma bekanntlich eine Ablenkung ohne Zerstreuung bewerkstelligt. Damit nun diese zweite Ablenkung für eine bestimmte Farbe genau dieselbe Winkelgröfse habe wie die erste durch das zerstreuende Prisma hervorgebrachte, ist es nöthig, die Brechungsverhältnisse der anzuwendenden Gläser oder Flüssigkeiten experimentell und die brechenden Winkel durch Rechnung zu bestimmen. Es ist nicht unmöglich, dafs durch eine geschickte Auswahl der brechenden Medien sich der Hauptzweck durch ein einziges achromatisches Prisma erreichen läfst, sonst wird man wohl mindestens zweier bedürfen.

Da das physikalische Cabinet der Universität keine achromatischen Prismen besafs, so verzichtete ich einstweilen auf die Anwendung des Princips der Refraction, machte dagegen den Versuch mit Hülfe eines rechtwinkligen Reflexionsprismas das Spectrum in die Einfallsrichtung zurückzuführen. Dieser Versuch gelang, wie nicht anders zu erwarten vollständig; auch mit einem gewöhnlichen Silber oder Stahlspiegel erreichte man seinen Zweck, dagegen keineswegs

befriedigend, aus leicht zu errathenden Gründen, mit einem belegten Glasspiegel.

Die beiden associrten jüngeren Mechaniker: Hr. Herrmann und Hr. Studer in Bern — ebenso sehr durch ihre Strebsamkeit als durch ihre bereits mehrfach bewiesene Genauigkeit und Geschicklichkeit in Construction mathematischer und physikalischer Instrumente, insbesondere auch der Spectroskope, vortheilhaft bekannt — haben die Güte gehabt, meine Idee sofort zu verwirklichen. Ihrem Eifer habe ich es zu verdanken, dafs ich der naturforschenden Gesellschaft schon am 7. Februar ein *Hand*- und *Reisespectroskop* vorweisen konnte, das bezugs Bequemlichkeit und Tragbarkeit nichts mehr zu wünschen übrig liefs und dessen Preis — 40 Fr. — seiner allgemeinen Verbreitung kein Hindernifs seyn kann.

In seiner äufsern Form gleicht es einem kleinen Handperspective mit *einem* Auszuge.

Die inwendig geschwärzte messingene Röhre, in der das Zerstreuungs- und Reflexionsprisma — auf einer metallenen Tablette drehbar — sich befinden mifst 2,5 Cm. im Lichten und 12 Cm. in der Länge; der Auszug, der vorn die verschiebbare Spalte trägt, ist noch weitere 10 Cm. lang, so dafs das Rohr auf 22 Cm. oder $17\frac{1}{2}$ Zoll ausgezogen und auf weniger als 5 Zoll zusammengestofsen werden kann. Fig. 11 und 12 Taf. II nach einer Photographie auf $\frac{1}{7}$ d. nat. Gröfse reducirt giebt eine perspectivische Ansicht des Instrumentes

Die Prismen können mit einem Uhrschlüssel richtig eingestellt werden, es ragen somit an der cylindrischen Röhre keine Stellschrauben vor, was für die Hand und die Tasche sehr unbequem wäre. Am Prismenende ist die Röhre durch einen abnehmbaren Deckel, in den die kreisrunde Ocularöffnung eingeschnitten ist, geschlossen.

Der Hauptvortheil dieses Spectroskopes, das ich wohl nicht unpassend *Handspectroskop* genannt habe, besteht nun aber darin, dafs mit demselben unmittelbar, wie mit einem Fernrohr, nach der Lichtquelle (Flamme, elektrischer Funke,

Gestirn) visirt werden kann und man auch sofort das Spectrum derselben in einer für den Zweck der gewöhnlichen opto-chemischen Analyse hinreichenden Detaillirtheit erblickt. Die gewöhnlich verzeichneten 12 Fraunhoferschen Linien sind selbst im trüben Tageslicht leicht erkennbar, mit Ausnahme der beiden H; nach der Sonnenscheibe gewendet treten aber auch diese nebst K sehr scharf heraus, und alsdann werden auch noch viele feinere im Grün und Blau beobachtet. Die äufsersten Linien im Roth erscheinen namentlich sehr scharf bei Betrachtung der untergehenden Sonnenscheibe.

Betrachtet man gefärbte Flammen, so erkennt man, je nach der Intensität, auf 5 bis 10 Schritte Entfernung die von Bunsen und Kirchhoff abgebildeten Spectren der Metalle.

Um auch optische Absorptionsuntersuchungen farbiger Gläser, pflänzlicher oder thierischer Gewebe bequem anstellen zu können, liefs ich vor der Spalte zwei Messingklammern, ähnlich wie man sie an den Objecttischen der Mikroskope sieht, anbringen. Für Flüssigkeiten ist ein besonderer Halter bestimmt, in den ein parallelepipedisches Glaskästchen gestellt wird, so dafs dieses mit seiner schmalen Seite die Spalte verdeckt. Der Halter aber wird vom Spectroskop selbst getragen.

Die HH. Herrmann und Studer besitzen ausgezeichnete Flintprismen, deren Zerstreuung derjenigen des Schwefelkohlenstoffs wenig nachgiebt.

Es ist nun begreiflich, dafs durch Vorsetzung eines zweiten Flintprisma's und eines zweiten Crownprisma's (zur Correction der Ablenkung) man ohne weitere Aenderung ein doppelt so ausgedehntes Spectrum erhalten wird; in der That ist die Zahl der sichtbaren Fraunhofer'schen Linien alsdann bedeutend gröfser und die gewöhnlichen stehen erheblich weiter auseinander.

Eine solche Verbesserung führt aber dreierlei Nachtheile mit sich:

1) erhöht sich der Preis des Instrumentes mindestens um die Hälfte bis zwei Drittel,
2) wird es um mindestens 4 Cm. länger
3) um ein Erhebliches schwerer,

und aus den beiden letzten Gründen weniger tragbar.

Wen diese drei Punkte nicht stören, der kann von den obengenannten Mechanikern auch Handspectroskope mit 4 Prismen beziehen.

Dafs das Handspectroskop einer Scale entbehrt, erachte ich als keinen Nachtheil für den geübten Spectralanalytiker; sie wäre ein purer Luxus, sobald nur *ein* Zerstreuungsprisma da ist, und übrigens hat man in der Superposition der Spectren schon lange ein Mittel, hinreichend genau, etwaige neue Linien resp. neue Elemente zu erkennen.

Es hat keine Schwierigkeit' mit meinem Handspectroskop so entfernte Lichtpunkte, wie sie die Planeten Merkur, Venus, Jupiter und die hellsten der Fixsterne darstellen, anzuvisiren; dagegen habe ich mich überzeugen müssen, dafs die Lichtintensität zu gering ist, um dunkle Streifen wahrzunehmen, so sehr ich auch auf den Aspect des Merkur- und Venusspectrums gespannt war; selbst das Spectrum des Vollmondes liefs nur unklar einige der wesentlichsten Fraunhofer'schen Linien erkennen. Für solche Gestirnsbeobachtungen wird es nothwendig, den Spectralapparat am Ocularende eines Aequatorialinstrumentes anzubringen.

Von Interesse wird es auch noch seyn, mit einem solchen Handspectroskope die Erscheinung eines *Nordlichtes* in seiner intensivsten Ausbildung zu betrachten; es läfst sich alsdann die von mir ausgesprochene Ansicht verificiren: Das Nordlicht sey gewissermafsen ein vielfaches und gemischtes Spectrum der electrisch erglühenden Gasarten der Atmosphäre und die intensive Purpurröthe möchte nichts Anderem als dem erglühenden Wasserstoffgase zu verdanken seyn. Vergleiche »Bund 1862, No. 352 — zur Nordlichterscheinung.«

*Nachtrag.* Radau machte uns im 3. Hefte 1863 dieser Annalen mit der Theorie eines Spectroskop »*à vision direct*« bekannt und ich hatte selbst Gelegenheit in letzter Zeit ein solches von Hoffmann in Paris gefertigtes Spectroskop zu sehen und zu prüfen. Es beruht auf dem Princip der partiellen Achromatisirung, d. h. durch die Crownprismen werden die Spectren der Flintprismen jedes verkürzt, aber nicht annullirt, hingegen wieder in die Richtung des einfallenden Strahles zurückgebracht. Es versteht sich von selbst, dafs ich zur Zeit, wo ich auf den Einfall kam, ein Spectroskop mit directer Visirung zu construiren, von der Amici'schen Prismencombination noch nichts wufste.

## X. *Ueber die relative Stellung der unzerlegten Körper; von P. Kremers.*

Die Zusammenstellung der bisher noch unzerlegten Körper in einem Körpernetze ist unstreitig diejenige, welche die so mannigfachen Beziehungen der einzelnen Atome [1]) zu einander am deutlichsten darzustellen vermag.

Das Atom H kann z. B. der Ebene

| Li | Na | K |
|---|---|---|
| Mg | Zn | Cd |
| Ca | Sr | Ba |

nicht füglich angehören, denn wenn auch das relative Gewicht dieses Atoms derart ist, dafs es in der Linie Ca Mg Li

1) Das Wort *Atom* bedeutet hier und im Folgenden nicht *unzerlegbar* sondern *unzerlegt*.

neben letzterem stehen könnte, so sprechen doch dagegen zahlreiche andere physikalische Eigenschaften und wird es genügen, von diesen hier nur die so abnorme Lage seines Schmelzpunktes zu erwähnen.

Aus denselben Gründen kann auch das Atom O einer Ebene

| Wo | Va | Mo |
|---|---|---|
| | | |
| Te | Se | S |

in welcher, der vorerwähnten Ebene entsprechend, die beiden Linien Wo Va Mo und Te Se S Parallelen bilden, nicht füglich angehören, wohl aber einer Linie O S Cr, welche auf dieser Ebene senkrecht steht und selbige in S schneidet.

Mehr noch als einzelne Atome sprechen ganze Atomgruppen dafür, dafs nur ein Körpernetz eine vollständig genügende Zusammenstellung der Atome gestattet und kann in dieser Hinsicht die sogenannte Magnesiagruppe erwähnt werden, welche unstreitig einen Uebergang zwischen den beiden vorerwähnten Ebenen vermittelt.

Es folgt daher hiernächst ein Versuch, die Principien festzustellen, nach welchen die relative Lage der Punkte, Linien und Ebenen dieses Körpernetzes bestimmt wird.

Zwei Punkte gehören ein und derselben Linie an und liegen in dieser um so näher beisammen, je gröfser die Aehnlichkeit der Atome ist, welche sie repräsentiren. Sind zwei Punkte bekannt, welche nach allen bisherigen Erfahrungen in einer Linie nebeneinander liegen, so ist dadurch schon bestimmt, in welchem Sinne die Eigenschaften nach den beiden Richtungen der Linie hin sich ändern. Wird hierauf fufsend noch ein dritter Punkt gefunden, welcher sich an erstere beide unmittelbar anreiht, so ist dadurch schon weiter bestimmt, in welchem Maafse die verschiedenen Eigenschaften der Linie sich ändern. Es zeigt sich nun schon,

dafs einzelne Eigenschaften von Punkt zu Punkt um eine annähernd gleiche, andere dagegen um eine mehr oder weniger verschiedene Gröfse sich ändern. Diejenige Eigenschaft, welche sich von Punkt zu Punkt am wenigsten ändert, eignet sich am besten dazu, einem jeden weitern Punkte seine Stelle in der Linie anzuweisen. Dieser Bedingung entspricht unstreitig am vollkommensten das relative Gewicht der Atome.

In der nächstfolgenden Tabelle sind diejenigen Linien zusammengestellt, in welchen drei nebeneinanderliegende Punkte schon bekannt sind. Unter der chemischen Bezeichnung der einzelnen Punkte sind die entsprechenden Atomgewichte und darunter deren erste und zweite Differenzen angeführt.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Li | Na | K | Wo | Va | Mo |
| 7 | 23 | 39,1 | 92 | 68,6 | 48 |
| 16 | 16,1 | | −23,4 | −20,6 | |
| | 0,1 | | | −2,8 | |
| Mg | Zn | Cd | Te | Se | S |
| 12 | 32,6 | 56 | 64 | 39,7 | 16 |
| 20,6 | 23,4 | | −24,3 | −23,7 | |
| | 2,8 | | | −0,6 | |
| Ca | Sr | Ba | Sb | As | P |
| 20 | 43,8 | 68,6 | 122 | 75,2 | 31 |
| 23,8 | 24,8 | | −46,8 | −44,2 | |
| | 1 | | | −2,6 | |
| Hg | Pb | Ag | J | Br | Cl |
| 100 | 103,5 | 108 | 127 | 80 | 35,5 |
| 3,5 | 4,5 | | −47 | −44,5 | |
| | 1 | | | −2,5 | |

An die vorstehenden Linien läfst sich, wenn auch einstweilen blofs mit einiger Wahrscheinlichkeit, auch noch die Linie

| Ta | Nb | Ti |
|---|---|---|
| 68,8 | 48,8 | 25 |
| −20 | −23,8 | |
| | 3,8 | |

anreihen. [1])

1) Wenn $h = \frac{Ta + Ti}{2}$ und $m = Nb$ ist, so ist die Modification des

Ob nun die vorstehenden zweiten Differenzen constant oder variabel sind, darüber kann ein vierter Punkt der Linien um so mehr entscheiden, je näher derselbe bei den drei bereits bekannten liegt.

Ein Atom, welches allem Anscheine nach einen Punkt in der Linie Sb As P bilden kann, ist das Atom Bi. Die relativen Gewichte dieser vier Atome sind schon öfter bestimmt und wird daher deren Genauigkeit für den vorliegenden Zweck wohl genügen. Wenn in der Linie Sb As P die zweite Differenz constant bliebe, so müfsten die Gewichte der beiden an Sb sich unmittelbar anreihenden Atome 223,4 und 171,4 seyn. Das Atomgewicht Bi ist nach den neuesten Bestimmungen 210, also von der nächstliegenden Zahl 223,4 wesentlich verschieden.

Zwei andere Atome, welche allem Anscheine nach Punkte in der Linie Li Na K bilden können, sind die Atome Rb und Cs. Wenn in der Linie Li Na K die zweite Differenz constant bliebe, so würden die den relativen Gewichten dieser beiden Atome (85,4 und 133) zunächst liegenden Zahlen 88 und 137,8 seyn. Diese Zahlen sind indefs auch hier wieder, wie in dem vorangehenden Falle, entschieden gröfser als die Atomgewichte.

Die zweiten Differenzen sind also in beiden Linien nicht constant, sondern vielmehr derart variabel, dafs im weitern Verlauf der beiden Linien die den einzelnen Punkten entsprechenden Atomgewichte ein Maximum erreichen und darüber hinaus wieder abnehmen können. Ein solches Maximum ist übrigens auch nothwendig, da die einzelnen Punkte einer Linie, von dem Anfangspunkte mehr und mehr sich entfernend, diesem schliefslich nicht mehr chemisch ähnlich, sondern vielmehr entschieden entgegengesetzt erscheinen und es doch unstreitig gerade die leichtesten Atome sind, bei welchen die entschiedensten chemischen Gegensätze beobachtet werden.

mittleren Atomgewichts $\frac{h-m}{h} = -0{,}041$. Diese Modification unterscheidet sich von der Modification $Zn = +0{,}041$ (Bd. 100 S. 269) blofs durch das Vorzeichen.

Die einzelnen Linien haben also gleichsam entgegengesetzte Pole.

Obgleich bisher noch keine Linie von Pol zu Pol verfolgt wurde, so scheint doch wenigstens die Linie

Bi . Sb As P,

welche schon mit dem fünften Punkte das höchste der bisher bekannten Atomgewichte erreicht, keine bedeutende Ausdehnung zu besitzen. Während in dieser Linie schon beim fünften Punkte die Gränze der beiden Pole wahrnehmbar wird, ist dagegen in der Linie

Li Na K .. Rb .. Cs

noch der neunte Punkt entschieden positiv.

Die einzelnen Linien haben demnach von Pol zu Pol eine verschiedene Länge.

Von den bisher behandelten Linien, in Folge Linien erster Richtung genannt, lassen sich einzelne in einer Ebene derart nebeneinander legen, dafs die dadurch gebildeten und auf den Linien erster Richtung senkrecht stehenden Linien, in Folge Linien zweiter Richtung genannt, ebenfalls den vorentwickelten Bedingungen entsprechen.

Eine in dieser Weise gebildete, bisher noch am vollständigsten bekannte Ebene ist die folgende:

| Li | Na | K | | | Rb | | | Cs [1] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mg | Zn | Cd | | | | | | |
| Ca | Sr | Ba | | | | | | |

1) Wenn $h = \frac{Li + K}{2}$ und $m = Na$ ist, so ist die Modification des mittleren Atomgewichts $\frac{h - m}{h} = + 0{,}002$.

Wenn $h = \frac{K + Cs}{2}$ und $m = Rb$ ist, so ist die Modification des mittlern Atomgewichts $\frac{h - m}{h} = + 0{,}008$.

Dem gröfseren Abstande der Atome entspricht hier auch die gröfsere Modification (Bd 96, S. 53 Tabelle IV).

Es ist nicht zu verkennen, dafs in dieser Ebene der Wechsel der Eigenschaften von Punkt zu Punkt in den Linien erster Richtung weit geringer ist, als in denen zweiter Richtung. Dieser Wechsel der Eigenschaften kann daher in einzelnen Linien zweiter Richtung merklich verschieden seyn. In der Linie Li Mg Ca ist derselbe z. B. weit geringer als in der Linie Na Zn Sr. Solche Linien zweiter Richtung, in welchen der Wechsel der Eigenschaften möglichst gering ist, eignen sich am besten dazu, nicht blofs nebeneinanderliegende Linien erster Richtung aufzufinden, sondern selbige auch zu fixiren.

Eine weitere Ebene, in ähnlicher Weise gebildet wie die vorangehende, ist die folgende:

| Wo | Va | Mo |
|---|---|---|
| | | |
| Te | Se | S |

Auch hier sind wieder die Linien erster Richtung von denen zweiter Richtung wesentlich verschieden.

Bisher sind noch keine Ebenen oder Linien bekannt, welche auf eine der beiden vorstehenden Ebenen derart gelegt werden können, dafs die dadurch gebildeten und auf diesen Ebenen senkrecht stehenden Linien, in Folge Linien dritter Richtung genannt, ebenfalls den vorentwickelten Bedingungen entsprechen, wohl aber bereits einzelne Punkte. Solche Punkte bilden für die erstere der vorstehenden Ebenen das Atom H und für die letztere die Atome O und Cr.

Welche Stelle solche Punkte zu den Ebenen einnehmen, ist nur annähernd anzugeben, so lange dieselben noch vereinzelt sind. Wenn angenommen wird, dafs die Atome H und Li eine Linie dritter Richtung bilden, so läfst sich der Werth dieser Annahme um so mehr beurtheilen, je mehr entweder die Linie dritter Richtung oder die Ebene, welcher der Punkt H angehört, erweitert werden. Wahrschein-

licher als die vorangehende ist daher schon die folgende Annahme, dafs nämlich die drei Atome O S Cr eine Linie dritter Richtung bilden. In dieser Linie dritter Richtung ist, dem Vorhergehenden vollkommen entsprechend, der Wechsel der Eigenschaften bedeutender noch als in den Linien zweiter Richtung.

Neben den beiden vorstehenden können hier noch zwei weitere Ebenen

| Bi | | Sb | As | P |
|---|---|---|---|---|
| | | | | N |

und

| J | Br | Cl |
|---|---|---|
| | | Fl |

angeführt werden, in welchen die beiden Linien Bi . Sb As P und J Br Cl aller Wahrscheinlichkeit nach Linien erster Richtung sind, wohingegen es indefs vorerst noch unentschieden bleibt, ob die beiden Linien P N und Cl Fl Linien zweiter oder dritter Richtung sind.

Es wird nun zunächst nothwendig seyn, die an den beiden Polen des Körpernetzes aufgefundenen Linien erster, zweiter und dritter Richtung näher kennen und sicher unterscheiden zu lernen, um, auf die hierbei gewonnenen Erfahrungen gestützt, von diesen beiden Polen aus gegen die indifferente und deshalb nicht so leicht zu ordnende Mitte des Körpernetzes vorzudringen.



## XI. *Ueber den Cölestin in der thüringer Trias; von E. E. Schmid.*

Cölestin ist in drei verschiedenen Horizonten der thüringischen Trias gefunden worden: im untersten Gliede des untersten Muschelkalkes, den Myophorien- oder Cölestin-Schichten, im obersten Glied desselben, dem Schaumkalk, und in der Lettenkohlengruppe.

### 1. Cölestin der Cölestin-Schichten; — Faserung — Trichroismus.

Das Vorkommen des Cölestins in den untersten Schichten des unteren Muschelkalks ist am längsten bekannt, am verbreitetsten und reichlichsten. Seine Auffindung bei Dornburg und seine Erkennung durch Lenz fallen noch in die erste Hälfte des zweiten Decenniums dieses Jahrhunderts; seine genaue Analyse durch Stromeyer wurde der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen schon am 18. November 1816 vorgelegt. Bald nach ihrer Auffindung wurde die bei Dornburg nur $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll starke Cölestinschicht nicht nur für wissenschaftliche, sondern auch für technische Zwecke durch eine rohe Brucharbeit ausgebeutet, und zwar mit solchem Erfolg, dafs man sich veranlafst fand, auch an andern benachbarten Stellen, wo die untersten Muschelkalkschichten entblöfst waren, nach Cölestin zu suchen. Man suchte fast an keiner dieser Stellen vergeblich, sondern fand Cölestin an so vielen, — aufser Dornburg namentlich bei Zwetzen, Wogau, am Fufse der Kernberge und Gleifsberge, — dafs man ihn als einen gewöhnlichen Begleiter der auch an ihrer ebenen Schieferung und an ihren organischen Einschlüssen erkennbaren untersten Schichten des unteren Muschelkalks ansehen, und dieselben in ihrer localen Entwickelung bei Jena füglich als »Cölestinschichten« bezeichnen kann. Auch bei Zwetzen und Wogau wurde Cölestin ausgebeutet, und zwar am längsten bei Wogau, wo fünf bis sechs Schichten davon knapp über-

einander auftreten. Die Ausbeutung dauerte fort bis der Preis des Centners, anfangs über 2 Thaler, unter 1 Thaler sank: diefs geschah, wahrscheinlich in Folge der Einführung des westphälischen Strontianits in den Handel, im Jahre 1848. Jetzt sind alle Cölestingruben so verfallen, dafs es schwer hält, ihn auch nur aufzufinden; er bröckelt bald bis zu solcher Tiefe zwischen den Kalkschiefern aus, dafs er von ihnen und ihren Verwitterungsprodukten verdeckt wird.

Die Schichten des Cölestins sind den Schichten des Muschelkalks nicht durchaus gleichförmig eingelagert: sie verschwinden nicht nur zwischen den letzten, indem sie sich auskeilen oder zertrümmern, sondern durchsetzen sie auch, und gelangen so von der untern Fläche einer Kalkschicht zu deren oberer. Aufser den Zwischenschichten finden sich auch rundliche Massen und krystallinische Krusten von Cölestin.

Die krystallinischen Krusten kleiden erweiterte Absonderungs- und Spaltungsklüfte aus; die ausgebreitesten und schönsten hat Zwetzen geliefert. Die einzelnen Krystalle erreichten jedoch auch hier nur eine Länge von 6‴, eine Dicke von 3‴; sie zeigen die Flächen $P$, $\breve{P}3$, $\bar{P}\infty$, $\breve{P}\infty$, $\infty\breve{P}2$, $\infty\bar{P}\infty$; ihr Habitus ist theils kurz-säulenförmig durch Vorwaltung von $\breve{P}\infty$ und $\infty\bar{P}\infty$, theils spitz-pyramidal bis nadelförmig durch $\breve{P}3$.

Die rundlichen Massen sind dicht von Muschelkalk umschlossen.

Die Schichten sind faserig. Die Fasern bald gröber, bald feiner, gewöhnlich etwas wollig, sind stets nahe rechtwinklig gegen die Schichtungsfläche gerichtet: sie sondern sich sehr ungleich deutlich, mitunter sind sie durch Kalk oder Mergel von einander getrennt, meistens haften sie nur lose aneinander, mitunter jedoch so fest, dafs sie fast nur als feine Streifen auf dem geraden Querbruch erkennbar sind.

An allen Varietäten ist die gewöhnliche Spaltbarkeit des Cölestins nach $\infty\breve{P}\infty$ und $\bar{P}\infty$ sehr deutlich; ihre Härte

ist etwas über 3, ihre Dichte 3,92. Sie sind sehr selten farblos oder weifs, gewöhnlich blau, und zwar blafs-blau bis himmel-, berliner- und sogar indig-blau; sie sind glasglänzend bis matt, durchsichtig bis durchscheinend; die indig-blauen Stücke erscheinen im durchfallenden Lichte grünlich.

Diese sind kürzlichst die Merkmale, welche ich [1]) bei einer früheren Beschreibung des Jenaischen Cölestins erläuterte. Ich habe zu dieser Beschreibung noch wesentliche Ergänzungen und Berichtigungen hinzuzufügen.

Ich machte bereits damals auf den — wie mir scheint — allgemeiner bedeutsamen Umstand aufmerksam, dafs die krystallographische Beziehung der Fasern des geschichteten Cölestins zweifelhaft sey; jetzt zweifele ich nicht mehr daran, dafs eine solche Beziehung gar nicht besteht. Während nämlich die Richtung der Fasern immer nahe rechtwinklig bleibt gegen die Schichtung, nicht sowohl des Cölestins selbst, als vielmehr des ihn umgebenden Muschelkalks, ist die Haupt-Spaltungsfläche ebensowenig stets unter 52° gegen die Ebene der Schichtung geneigt, wie ich mit Berufung auf einige an sich ganz richtige Beobachtungen als allgemein gültig angenommen hatte, als parallel zu dieser Ebene, welchen Fall Quenstedt [2]) hervorhebt, sondern sie befindet sich in allen möglichen Lagen gegen die Faserung und Schichtung. Dieselbe ist stets glatt und glänzend, mitunter winklig, geknickt oder gebogen; sie behält ihre Richtung unverändert nur innerhalb meist schmaler, oft keilförmiger Stücke, die nach der Richtung der Fasern stets durch die Dicke der ganzen Schicht hindurch gegeneinander begränzt sind. Diese Stücke haben oft sehr verschiedene Gröfse, sie sind gewöhnlich ganz regellos in einander verzinkt, mitunter fächerförmig gruppirt; Fächer von der Ausdehnung einer Handfläche wurden jedoch nur bei Wogau gefunden, sie zeichneten sich durch Feinheit und

1) Schmid und Schleiden die geognostischen Verhältnisse des Saalthales bei Jena S. 18.

2) S. dessen Handbuch der Mineralogie (Tübingen 1855) S. 374.

Geschlossenheit der Fasern aus und durch Ebenheit der Ober- und Unterfläche.

Dagegen habe ich ausnahmslos — wenigstens an Vorkommen von Wogau, welches mir für diese Untersuchungen reichlich zu Gebote stand, — eine Beziehung gefunden zwischen der Farbe des Cölestins und der Neigung seiner Faserung und Hauptspaltung gegen einander. Je mehr sich diese Neigung dem rechten Winkel annähert, desto dunkler ist die Farbe, je geringer sie wird, desto lichter; ist dieselbe nicht unter 70°, so zeigt sich die Farbe dunkelblau, sie bleibt himmelblau bis 40° und verblafst erst unter 20°. Diese Beziehung ist eigenthümlich und hat mit Pleochroïsmus nichts gemein, denn die dunklen Farben erscheinen bei jeder Richtung des einfallenden Lichtes gegen die Fasern und die Färbung überhaupt rührt von einem beigemengten, bituminösen Stoff her. Es ist ja längst bekannt, dafs die blaue Farbe des Cölestins am Sonnenlichte bleicht und dafs sie durch Glühhitze rasch und vollständig zerstört wird. Beurtheilt man den Betrag des bituminösen Farbstoffs nach dem Glühverlust trockener Stücke, so steht er im geraden Verhältnifs zur Sättigung der Farbe. Diefs bewähren die folgenden Beispiele:

| Farbe | Neigung der Faserung gegen die Spaltung. | Glühverlust. |
|---|---|---|
| dunkelblau | 86° | 0,47 Proc. |
| himmelblau | 67 | 0,42 » |
| blafsblau | 46 | 0,30 » |

Die eben besprochene eigenthümliche Beziehung veranlafste mich, den Cölestin mittels der Haidinger'schen Lupe auf Pleochroïsmus zu untersuchen. Das Verhalten der dunkelblauen Stücke ist folgendes. Läfst man das Licht in der Richtung der Makrodiagonale durch sie hindurch gehen, bringt die Hauptaxe in eine parallele Lage zum Hauptschnitt des Doppelspaths, die Brachydiagonale in eine rechtwinklige dazu, so erscheint das aufserordentliche Bild grünlich-blau, das ordentliche sehr blafs-röthlich-blau; dreht man sie so vor der Oeffnung der Lupe, dafs die Hauptaxe

wie vorhin im Hauptschnitt liegt, aber die Makrodiagonale rechtwinklig dagegen, so bleibt das aufserordentliche Bild grünlich-blau, das ordentliche erscheint berlinerblau; bringt man endlich das Cölestinstück in die Lage, bei welcher die Makrodiagonale parallel, die Brachydiagonale rechtwinklig zum Hauptschnitt ist, so erhält man ein berliner-blaues aufserordentliches Bild und ein sehr blafs-röthlich-blaues ordentliches. Unter diesen Farben ist das Berlinerblau am dunkelsten, das Grünlich-blau gesättigt, tiefer als es beispielsweise am Aquamarin vorkommt, das Blafs-röthlich-blau so lichte, dafs es namentlich neben dem Grünlich-blau fast verschwindet. Der himmelblaue Cölestin läfst dieselben drei Axenfarben noch recht deutlich von einander unterscheiden und auch der blassest-blaue erkennen. In der That gehört der dunkelblaue Cölestin von Jena zu den recht ausgezeichnet trichroïtischen Krystallen, und eignet sich vorzüglich zur Demonstration des Trichroïsmus.

Eine genaue Analyse des Cölestins von Dornburg hat bereits Stromeyer[1]) gegeben; danach enthält derselbe kein anderes schwefelsaures Salz neben dem der Strontianerde, und eine Spur Kalkerde ist als kohlensaure beigemengt; nun mag zwar das in Untersuchung genommene Stück durch anhängenden Mergel etwas verunreinigt gewesen seyn, die Resultate der Untersuchung schliefsen jedoch die Annahme nicht aus, dafs etwas Kalkerde für die Strontianerde als Vicar in der schwefelsauren Verbindung enthalten gewesen sey. Nach dieser letzten Annahme ist die von Maddrell[2]) im Laboratorium Rammelsberg's ausgeführte Analyse berechnet. Beide Analysen stimmen dahin überein, dafs Baryterde ganz fehle. Eine Wiederholung der Analyse dürfte überflüssig seyn.

### 2. Cölestin des Schaumkalks.

Wo der Iserstedter und Ziskauer Grund zusammensto-

1) S. dessen Untersuchungen über die Mischung der Mineralkörper Bd. 1 S. 210.

2) Rammelsberg, Handbuch der Mineralchemie, 2. Aufl., S. 260.

ſsen, am oberen Ende des Mühlthales, vor dessen unterem Ende Jena liegt, ist das oberste Glied des unteren Muschelkalks, der Schaumkalk, mächtig entwickelt und durch einen Steinbruch weit aufgeschlossen. Einen der Hohlräume, wie sie, resorbirten Muschelschalen entsprechend, im Schaumkalk häufig sind, fand ich in ungewöhnlicher Weise mit Krystallen ausgekleidet. Diese Krystalle waren nämlich nicht rhomboëdrisch, sondern rhombisch; sie bestanden auch nicht aus kohlensaurer Kalkerde, sondern aus schwefelsaurer Strontianerde, sie entsprachen also nicht dem Kalkspath, sondern dem Cölestin.

Die Krystalle zeigten ein breites Flächenpaar, zwei schmale Prismen, deren Axen dem Flächenpaar parallel gegen einander rechtwinklig waren, und ein sehr wenig ausgedehntes Prisma von nahe 104° und 76°, dessen Axe zum breiten Flächenpaar rechtwinklig war. Bereits der Habitus erinnert an Cölestin, an dessen Flächen $\infty \breve{P} \infty$, $\infty \breve{P} 2$, $\breve{P} \infty$ und $\bar{P} \infty$. Noch bestimmter weist die Spaltbarkeit parallel der zuerst und der zuletzt erwähnten Fläche — nach $\infty \breve{P} \infty$ und $\bar{P} \infty$ — auf Cölestin hin.

Die Krystalle haben die Härte 3.

Sie lösen sich in Salpeter- und Salzsäure sehr schwer auf, schmelzen vor dem Löthrohr ziemlich leicht zu einem weiſsen Email und färben die Flamme carminroth. Sie bestehen aus schwefelsaurer Strontianerde. Neben der Strontianerde tritt Kalkerde in bemerklicher Menge nicht auf; wenigstens giebt das aus dem Sulphat erhaltene Chlorid bei der Spectralanalyse nur die Strontiumlinien, ohne jede Spur der Calciumlinien, welche, wenn der Kalkerdegehalt des Cölestins auch nur 1 Proc. beträgt, sehr deutlich aufleuchten. Eisenoxyd oder Eisenoxydhydrat ist nicht beigemengt.

Weitere Versuche konnten bei der Geringfügigkeit des Materials nicht angestellt werden. Trotz fleiſsigen und genauen Nachsuchens habe ich solches weder an der bezeichneten Stelle, noch an andern Stellen im Schaumkalke wiedergefunden.





### 3. Cölestin der Lettenkohle.

Der Salzschacht auf dem Johannisfelde bei Erfurt erreicht in 502' Tiefe einen 189' mächtigen Wechsel von Sandstein- und Lettenschichten, in welchen die organischen Ueberreste der Lettenkohlengruppe vorkommen, namentlich Zähne von Acrodus und Sphaerodus, Schuppen von Gyrolepis, Schalen von Lingula tenuissima, Myophoria transversa, Posidonomya minuta, Bruchstücke von Equisetum- und Calamites-Stengeln u A. Knapp an der unteren Gränze sind auch zwei dolomitische Schichten, die obere 1', die untere ½' stark eingeschaltet, wie sie auch an andern Stellen der thüringischen Lettenkohle vorkommen, z. B. bei Apolda und Mattstädt, wo man sie zur Bereitung von Cement benutzt. Beide dolomitische Schichten haben dasselbe Aussehen; sie sind grau, grobkörnig und etwas cavernös, sie enthalten kohlensaure Kalk- und Talkerde zu beinahe gleichen Aequivalenten, und daneben Eisenoxydul genug, um sie als Braunkalke zu bezeichnen; ihr Thongehalt beträgt über 10 Proc. Die Cavernen waren nach den Mittheilungen des Hrn. Bergmeister Busse zum Theil von Soole erfüllt; Spuren dieser Füllung zeigten sich noch beim Zerschlagen von Stücken, welche wochenlang auf der Halde gelegen hatten; wurden aufgeschlagene Cavernen mit Wasser ausgespült, so liefs sich im Spülwasser oft noch ein Chlorwasserstoffgehalt nachweisen. Die Wände der Cavernen sind mit kleinen, weifsen, seidenglänzenden Rhomboëdern von Braunspath ausgekleidet; zwischen und über diesen haben sich gröfsere rothe, rhombische Krystalle ausgebildet, die sich nach den folgenden Untersuchungen als Cölestin ausweisen.

Nachdem ich diese Krystalle in der Sammlung des Bergmeisters Busse gesehen hatte, fand ich auf der Halde noch einen genügenden Vorrath davon. Ein Querschlag vom nördlichen zum südlichen Schacht war nämlich gerade durch den Horizont dieser Braunkalke hindurchgeführt worden.

Die Krystalle des oberen Braunkalks sind meistens kleiner als die des unteren. Die ersten erreichen 11''' Länge, $6\frac{1}{2}'''$ Breite und $2\frac{1}{2}'''$ Dicke, die zweiten haben in ungefährem Mittel $4\frac{1}{2}'''$ Länge, 2''' Breite und $1\frac{1}{2}'''$ Dicke. Sie sind tafel- oder säulenförmig. Alle zeigen ein langes und ein kurzes Prisma, deren Axen sich rechtwinklig kreuzen, und ein Flächenpaar, welches zugleich je eine Kante der beiden Prismen abstumpft, viele noch ein zweites Flächenpaar, als Abstumpfung der andern Kante des kurzen Prismas, und ein drittes Prisma, welches zwischen das erste Flächenpaar und das kurze Prisma eingeschaltet ist, jedoch mit äufserst schmalen Flächen. Die Kantenwinkel sind wegen starker Streifung fast nur mit dem Anlegegoniometer mefsbar. Die Kante des langen Prismas ist nahe 104° wie bei $\breve{P}\infty$ des Cölestins. Geht man von ihm aus, so sind die erwähnten Gestalten der Reihe nach $\breve{P}\infty$, $\infty\breve{P}m$, $\infty\breve{P}\infty$, $\infty\bar{P}\infty$ und $\infty\breve{P}m'$. Das kurze Prisma $\infty\breve{P}m$ mifst sehr nahe 76°; ein solches findet sich unter den bekannten Cölestingestalten allerdings nicht, es steht aber dem $\infty\breve{P}2$, dessen Kante zu 78° 49' angegeben wird, sehr nahe; auf das für den Cölestin angenommene Axenverhältnifs bezogen, würde der Ausdruck dafür seyn $\infty\breve{P}\,2{,}065$, welchen man mit Rücksicht auf etwaige Vicare für die Strontianerde, die eine Modification des Axenverhältnisses bedingen, füglich zu $\infty\breve{P}2$ abrunden darf. Das Prisma $\infty\breve{P}m'$ erscheint so untergeordnet, dafs ich von seiner präcisen Bestimmung absehen mufs. Die Krystalle sind, übereinstimmend mit dem Cölestintypus, in der Richtung der kurzen Nebenaxe langgestreckt. Auch ihre Spaltbarkeit stimmt mit der des Cölestins; sie erfolgt sehr vollkommen nach $\infty\breve{P}\infty$, minder vollkommen nach $\bar{P}\infty$, welches Prisma Kanten von nahe 104° hat.

Die Krystalle haben die Härte 3; ihre Dichte ist 3,92 bis 3,94. Sie sind selten farblos, gewöhnlich roth, und zwar fleischroth bis hell ziegelroth; doch ist die rothe Färbung

nie ganz gleichförmig, und unter dem Mikroskop zeigt sich die farblose Grundmasse von rothen Wolken durchzogen. Sie haben mäfsigen Glasglanz und Durchsichkeit in mittleren Graden.

Vor dem Löthrohr schmelzen die Krystalle leicht und unter schwachem Aufblähen zu einem weifsen Email und färben die Flamme carminroth. Auch als feinstes Pulver lösen sie sich in vieler Salpetersäure sehr langsam auf, und zwar erfolgt die Auflösung, nachdem ein geringer Eisenoxydgehalt durch den ersten Säureaufgufs entfernt ist, gleichmäfsig. Das zuerst und das zuletzt Aufgelöste lassen neben Strontianerde nur Kalkerde in nicht bemerkbar verschiedenem Verhältnifs erkennen; nach einem ersten, fast aufblitzenden Erscheinen der Calciumlinien im Spectralapparate tritt sehr bald das Strontiumspectrum für sich allein hervor. Trotzdem fehlt jedoch auch Baryterde neben Strontianerde und Kalkerde nicht; führt man das Sulphat in Chlorid über, behandelt das letzte wiederholt mit absolutem Alkohol, so bleibt ein Rückstand ungelöst, der das Baryumspectrum rein giebt.

Beim Glühen giebt das Pulver der Krystalle etwas Wasser ab, welches jedoch, nach dem Glühverlust beurtheilt, nicht über 0,6 Proc. beträgt. Dasselbe ist bei den folgenden Analysen, denen geglühtes Pulver zu Grunde gelegt wurde, unberücksichtigt geblieben. Nach den üblichen Methoden wurde erhalten aus 3,818 Gr. des geglühten Pulvers 4,860 Gr. schwefelsaure Baryterde, aus 2,0657 Gr. desselben 0,0464 Gr. kohlensaure Kalkerde und 0,0057 Gr. Eisenoxyd, endlich aus 1,7523 Gr. desselben 0,0163 Gr. Kieselfluorbaryum. Berechnet man daraus den procentischen Gehalt an Schwefelsäure, Kalkerde, Baryterde und Eisenoxyd, und, nachdem die zur Sättigung der Kalkerde und Baryterde erforderliche Schwefelsäure abgezogen ist, aus dem bleibenden Reste dieser letzten die Strontianerde, so erhält man als: *Zusammensetzung des Cölestins aus der Lettenkohle im Salzschacht bei Erfurt*:

| | | |
|---|---|---|
| Strontianerde | 43,68 | Proc. |
| Kalkerde | 1,26 | » |
| Baryterde | 0,51 | » |
| Schwefelsäure | 53,39 | » |
| Eisenoxyd | 0,28 | » |
| | 99,12 | Proc. |

Die Untersuchung ergiebt einen Verlust von 0,88 Proc.; er ist an sich nicht grofs und überdiefs leicht erklärlich. Bei Behandlung des Gemisches der salpetersauren Erden mit vielem absoluten Alkohol ist nämlich die Auflösung von etwas Strontianerde unvermeidlich; ein beträchtlicher Theil davon krystallisirte aus, nachdem der Alkohol bis auf einen kleinen Rest verdampft war; aber wenn auch in den Krystallen eine Spur von Kalkerde nachweisbar war, so enthielt das in der Auflösung Verbliebene einen noch auffälligeren Gehalt an Strontianerde, und liefs die rechnungsmäfsig bestimmte Menge dieser letzten nothwendigerweise zu gering ausfallen. Das Eisenoxyd ist, wahrscheinlich als Brauneisenstein, nur mechanisch beigemengt.

## XII. *Resultate der Untersuchungen über die Niveauveränderungen des Wasserspiegels der Ostsee; von Dr. Arthur Ferdinand Baron v. Sass*[1])

In der Ostsee übersteigt das Meer häufig die ihm von der Natur ursprünglich angewiesenen Gränzen, und treibt seine Wogen bald ins Land hinein, bald tritt es auffallend zurück, und entblöfst gröfsere oder kleinere Strecken des Meeresbodens. Zur Erklärung dieses Phänomens wurden von mir in den Jahren 1859, 1860 und 1861 am nördlichen Gestade des Riga'schen Meerbusens, der Südküste der

1) Auszug aus dem *Bull. de l'Acad. des sciences de St. Petersbourg T. V. p.* 257 bis 296.

Insel Oesell, dem zum Rittergute Sandel gehörigen Strande bei dem Fischerplatze Kukke saar in 22° 51' östlicher Länge von Greenwich und 58° 7' 30" nördl. Br. täglich Vormittags 11ʰ und Nachmittags 5ʰ Messungen über die Höhe des Wasserstandes angestellt. Indem nun die gewonnenen Beobachtungen zu einer Untersuchung der Natur dieser Naturerscheinung, und ihrem Zusammenhange mit andern Naturvorgängen benutzt wurden, ergaben sich folgende Resultate; nachdem aus den 189 angestellten Messungen der Mittelwerth als arithmetisches Mittel festgestellt worden war:

1) Bei der Berechnung der Resultate zeigte sich, dafs beim Steigen des Wassers die Differenz mit dem Mittelwerth gröfser ist als beim Fallen. Als mittlere Differenz zwischen dem Normalwasserstande (Mittelwerth) und allen 189 Beobachtungen ergiebt sich — 0,47" [1]).

2) Die mittlere Höhe des Wasserstandes in einer gewissen Zeit übt keinen Einflufs auf die Intensität seiner Schwankungen aus.

3) Im jährlichen Eintreten des Normalwasserstandes herrscht keine Regelmäfsigkeit.

4) Der Normalwasserstand wurde verhältnifsmäfsig am häufigsten im August, am seltensten im Juli beobachtet.

5) Der Normalwasserstand tritt häufiger am Nachmittage als am Vormittage ein.

6) Im August ist das Hochwasser überwiegend, im September nähert es sich der Hälfte aller Beobachtungen, im Juli ist es sehr selten.

7) Im Juli herrscht Niedrigwasser vor.

8) Am Nachmittage sind Hoch- und Niedrigwasserbeobachtungen gleich häufig angestellt worden.

9) Verhaltnifsmäfsig ist das Normalwasser am seltensten das Niedrigwasser am häufigsten beobachtet worden.

10) Das Maximum des Hochwassers übersteigt den

1) Der Wasserstand über dem Normalwasserstand wird mit +, der unter demselben mit — und der Normalwasserstand selbst mit ± bezeichnet.

Normalwasserstand um mehr als das Doppelte davon, wie das Niedrigwasser beim Minimum darunter fällt.

11) Die gröfsfe Differenz zwischen Maximum und Minimum des Wasserstandes beträgt 2' 10" engl.

12) Die bedeutendste mittlere Höhe über dem Normalwasserstande tritt bei NW. ein, die bedeutendste Tiefe des Wassers bei SO.

13) Die bedeutendsten Schwankungen zwischen dem Vor- und Nachmittagstande finden bei NO statt, während bei W und S die Schwankungen sich beinahe auf 0 reduciren.

14) Bei anhaltendem NW und W tritt stets ein Fallen des Wassers ein.

15) Bei anhaltendem SW und SO herrscht das Fallen vor.

16) Bei anhaltendem S herrscht das Steigen vor.

17) Bei anhaltendem O beobachteten wir ebenso oft ein Fallen, wie ein Gleichbleiben des Wassers.

18) Bei anhaltendem NO erfolgt stets ein Steigen.

19) Ein entschiedenes Fallen tritt ein, wenn:

*a*) NW auf SW folgt
*b*) S » W »
*c*) SO » S »
*d*) NO » S »

Ein entschiedenes Steigen tritt ein, wenn:

*a*) SW auf S folgt.
*b*) SW » SO »
*c*) S » SO »
*d*) SO » O »

20) Während und nach einem Regen steigt das Wasser.

21) Vor einem Regen fällt das Wasser.

22) Bei Gewittern erfolgt ein Steigen des Wassers, was seine Erklärung darin findet, dafs die Gewitter gewöhnlich von heftigen Winden begleitet werden, welche das Wasser aufthürmen.

23) Das Schwanken im Niveau der Ostsee ist die

Folge mehrerer vorhergegangenen meteorologischen Erscheinungen.

24) Die Veränderungen des Wasserstandes sind nicht unmittelbare Folgen gewisser meteorologischer Erscheinungen, sondern sind gewöhnlich von einer ganzen Reihe früherer Erscheinungen bedingt.

25) Das Steigen des Wassers breitet sich bald über weite Strecken aus, bald ist es nur ein auf einen kleinen Raum des Meeres sich beschränkendes, je nach der Ausdehnung des Windes.

26) Die Richtung und Stärke des Windes sind die vorzüglichsten Urheber der Meeresschwankungen.

27) Das Steigen des Wassers erfolgt, wenn der Wind aus Gegenden weht, wo er über gröfsere Wasserflächen kommt. Weht der Wind von der Landseite so erfolgt Fallen [1]), also bei Seewind Steigen und bei Landwind Fallen.

28) Die Extreme des Steigens des Wassers werden durch aufsergewöhnlich vermehrte Stärke der Winde bewirkt, welche von der Seeseite wehen.

29) Die Extreme im Fallen des Wassers werden dadurch hervorgerufen, dafs anhaltende Winde von der Landseite wehen.

30) Zwischen Wasserhöhe und Barometerstand [2]) liefs sich kein Zusammenhang nachweisen.

1) Der Begriff See- und Landwind bezieht sich hier stets auf die ganze Ostsee und nicht nur auf den Beobachtungsort.

2) Meine Barometerbeobachtungen wurden an einem Aneroïd-Barometer angestellt.

## XIII. *Ueber den magnetischen Rückstand im Eisen;* *von Prof. Dr. A. von Waltenhofen in Innsbruck.*

(Vorläufige Anzeige von neuen Beobachtungen über diesen Gegenstand.)

---

Es ist mir oft aufgefallen, dafs die magnetischen Rückstände in weichen Eisenkernen bei wiederholter ganz gleicher temporärer Magnetisirung desselben Stabes, sehr ungleich ausfallen. Noch befremdender aber war mir eine Erscheinung, die ich an einem sehr dicken Eisencylinder zuerst wahrgenommen habe, und welche darin bestand, dafs der nach Aufhebung des magnetisirenden Stromes zurückgebliebene Magnetismus im Vergleiche mit dem verschwundenen temporären Magnetismus manchmal sogar die *entgegengesetzte* Polarität hatte. Bei den Versuchen diesen Vorgang, welchen ich der Kürze wegen die »*anomale Magnetisirung*« nennen will, zu wiederholen, überzeugte ich mich bald von den Bedingungen desselben, indem mir dabei eine muthmafsliche Erklärung behülflich war, die mir bei näherer Erwägung der Sache vorschwebte, und die ich nun zunächst auseinandersetzen will.

Es schien mir nicht zulässig, die besagte Erscheinung etwa als eine secundäre Wirkung inducirter Ströme anzusehen, weil die Oeffnungsströme mit den primären Strömen gleichgerichtet sind, und daher im Gegentheile nur zur *Vergröfserung* des remanenten Magnetismus beitragen können[1]). Vielmehr schien mir die Hypothese drehbarer *Molecularmagnete* ganz unmittelbar eine ebenso einfache als befriedigende Erklärung zu gestatten, wenn man nämlich die Annahme festhält, dafs bei der Bewegung der magnetischen Molecüle, neben der Tendenz, in die ursprünglichen Gleichgewichtslagen zurückzukehren, auch ein gewisser Reibungswiderstand sich geltend macht. Diese Annahme läfst vor-

1) Vergleiche Magnus, Pogg Ann. Bd. 48, S. 95 und Helmholtz, Pogg. Ann. Bd. 83 S. 535.

ausseben, dafs es für den magnetischen Rückstand im Eisen nicht gleichgültig seyn könne, sondern vielmehr von mafsgebender Bedeutung seyn müsse, ob eine *plötzliche* Unterbrechung des magnetisirenden Stromes stattfindet, oder ob man eine *allmälige* Stromaufhebung in der Art einleitet, dafs man die Stromstärke zuvor durch eingeschaltete Widerstände nach und nach vermindert, und erst wenn sie nahezu Null geworden ist, ganz unterbricht.

Beim allmäligen Nachlassen und Verschwinden der magnetisirenden Kraft werden die Reibungswiderstände, wegen der nur langsam gestatteten Bewegung der Molecularmagnete, den vollständigen Rücktritt in die ursprünglichen Gleichgewichtslagen verhindern; wenn dagegen die magnetisirende Kraft plötzlich zu wirken aufhört und somit die gedrehten Molecularmagnete der Rückwirkung der Molecularkräfte plötzlich vollständig überlassen worden, wird die Schnelligkeit der rückgängigen Bewegung, nach Mafsgabe der gröfseren lebendigen Kräfte, welche die Molecüle nach plötzlicher Aufhebung des Spannungszustandes erlangen, dieselben weiter gegen die ursprünglichen Gleichgewichtslagen zurückführen, und in manchen Fällen sogar *kleine Ueberschreitungen* dieser Gleichgewichtslagen bedingen können. Geschieht das Letztere, so ist auch die weitere Annahme zulässig, dafs eine Anzahl von Molecularmagneten jenseits der überschrittenen Gleichgewichtslagen zurückbleiben, und somit eine dem aufgehobenen elektro-magnetischen Zustande *entgegengesetzte* magnetische Fernwirkung bedingen könne. Eine Feder, deren Oscillation durch mäfsige Reibung gehemmt ist, zeigt bei plötzlichem oder allmäligem Nachlassen eines ihr ertheilten starken Spannungszustandes ein Verhalten, welches die beschriebenen Vorgänge experimentell versinnlicht. Diese Hypothese erklärt nicht nur die Möglichkeit anomaler Magnetisirungen, sondern läfst zugleich die Bedingung derselben erkennen, indem sie zeigt, dafs dieser Vorgang nur bei plötzlicher Unterbrechung des magnetisirenden Stromes eintreten kann, dafs dagegen die nach allmäliger Stromaufhebnng eintretenden magnetischen Rück-

stände mit dem verschwundenen temporären Magnetismus gleiche Polarität haben müssen.

Meine Beobachtungen über das Verhalten elektro-magnetisirter Eisenmassen bei plötzlicher und allmählicher Stromaufhebung, haben diese Annahmen vollkommen bestätigt. Ich will nunmehr einige von den erhaltenen Zahlenresultaten folgen lassen, wobei ich als *Einheit* der magnetischen Kräfte durchaus ein Moment von *Einer Million absoluter Einheiten* angenommen habe.

In der Magnetisirungsspirale, welche ich in meiner Abhandlung »Ueber die Coërcitivkraft verschiedener Stahlsorten«[1]) beschrieben habe, wurde ein *vollkommen unmagnetischer* Cylinder von *möglichst weichem* Eisen, 103$^{mm}$ Länge und 28$^{mm}$ Durchmesser, mit zunehmender Stromintensität soweit magnetisirt, dafs sein temporäres Moment nahezu = 60 war. Nach plötzlicher Stromunterbrechung äufserte er das entgegengesetzte remanente Moment — 0,20, und zeigte auch nach wiederholten plötzlichen Oeffnungen der wieder geschlossenen Kette entschieden negative (anomale) Rückstände. Dagegen zeigte sich nach *allmählich* eingeleiteter Aufhebung des magnetisirenden Stromes jedesmal ein bedeutendes, mit dem temporären Momente gleichnamiges Residuum. Wenn der Strom hierauf in derselben Richtung abermals hergestellt, sodann aber plötzlich unterbrochen wurde, zeigte sich das mit der temporären Magnetisirung gleichnamige Residuum, welches nach allmählicher Stromaufhebung immer wenigstens den Betrag 0,30 hatte, nahezu auf 0 reducirt, konnte jedoch durch Wiederholung dieses Verfahrens nicht merklich unter 0 herabgebracht werden. Wenn aber hierauf die magnetisirende Stromrichtung gewechselt wurde, so trat nach plötzlicher Unterbrechung wieder eine ganz entschiedene anomale Magnetisirung auf.

So oft der Eisencylinder mehrere Tage in ostwestlicher horizontaler Lage unberührt gelassen war, zeigte er sich wieder vollkommen unmagnetisch, und ergab bei Wiederholung des zuerst beschriebenen Versuches wieder das

1) Welche nächstens in diesen Annalen erscheinen wird.

anomale Residuum —0,20; er zeigte überhaupt wieder dasselbe Verhalten wie beim ersten Gebrauche. Wenn dagegen die remanenten Magnetismen nicht durch längeres Liegenlassen, sondern durch entmagnetisirende Ströme verschwinden gemacht worden [1]), gelang es nicht, so auffallende anomale Magnetisirungen hervorzubringen, als wenn der unmagnetische Zustand in der besagten Weise von selbst eingetreten war.

Dieselben Gesetzmäfsigkeiten zeigte ein Eisenstab von 103$^{mm}$ Länge und 20$^{mm}$ Durchmesser, welcher in derselben Spirale bis zu einem Momente von 45 magnetisirt wurde. Es ist bemerkenswerth, dafs die numerischen Beträge der remanenten Magnetismen für diesen Stab nicht erheblich von denjenigen verschieden waren, welche der dickere Stab bei gleicher Stromstärke gezeigt hatte. Die Magnetisirung wurde bei den besprochenen Versuchen in der Regel mit allmählich gesteigerten Strömen, jedesmal aber in der Art vorgenommen, dafs der Eisenkern mehrere Sekunden lang der magnetisirenden Einwirkung ausgesetzt blieb.

Die auffallende numerische Verschiedenheit der remanenten Magnetismen nach plötzlicher und allmählicher Stromunterbrechung ist in jedem Falle sehr leicht nachweisbar; dagegen erheischt die Beobachtung anomaler Magnetisirungen allerdings feinere Versuche.

Innsbruck, am 2. November 1863.

1) Diesen scheinbar unmagnetischen Zustand nannte Marianini »latenten« oder »dissimulirten« Magnetismus.

## XIV. *Ueber das Tönen durch Wärme; von J. Schneider.*

Um zu weiteren Aufschlüssen über die im 117. Bande S. 622 ff. dieser Annalen erörterten Töne zu gelangen, habe ich eine neue Versuchsreihe unternommen, deren Ergebnisse ich hier in der Kürze mittheile.

Die Versuche wurden mit einem 9 Zoll langen, 4 Linien dicken, runden Kupferstabe, und einem oben convexen Bleiblocke, wie er zu den Trevelyanversuchen gebraucht wird, angestellt. Der Stab wurde horizontal, und zwar $1\frac{1}{2}$ Zoll von dem einen Ende, auf den Block gelegt, und in derselben Entfernung von dem andern Ende unterstützt. Zuvor überzeugte man sich, dafs der Stab nicht, wie bei den Trevelyanversuchen, auf hervorstehenden Kanten oder Spitzen ruhte, sondern mit dem Bleie nur eine einzige, und immer ein und dieselbe Berührungsstelle hatte: die Metallflächen wurden an der Berührungsstelle sorgfältig rein gehalten.

Schlägt man die aufliegende Kupferstange, ohne zu erhitzen, in senkrechter Richtung von Oben nach Unten, oder auch umgekehrt an; so hört man aufser dem Tone der vibrirenden Metallstange noch einen, nur wenig länger dauernden Ton, der von den schnell aufeinander folgenden, an Stärke rasch abnehmenden Stöfsen der Stange auf die Unterlage herrührt. Erhitzt man nun die Stange allmählich, so wird dieser schwache und kurze Ton, bei fortgesetztem Anschlagen, um so deutlicher und anhaltender, je weiter die Erhitzung fortschreitet, bis endlich, sobald die gehörige Temperatur erreicht ist, der Ton ununterbrochen anhält, und das früher erwähnte Singen des Apparates eintritt.

Schlägt man die Metallstange, ohne zu erhitzen, in horizontaler Richtung von der Seite an, so entsteht, aufser dem gewöhnlichen Ton der Stange, kein zweiter Ton; ebenso wenig ist man im Stande, nach geschehener Erhitzung, durch

bloſs seitliches Anschlagen die Stange zum Singen zu bringen, wodurch sich wiederum ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Trevelyanversuche und dem unserigen kund giebt. Um diesen Unterschied bequem zu beobachten, ist es zweckmäſsig, in der oberen Fläche des Bleiblocks eine schmale Vertiefung zu bilden, so daſs die Stange auf zwei hervorstehende Kanten zu liegen kommt, und daneben eine völlig ebene und glatte Fläche herzustellen, wo die Stange nur eine einzige Berührungsstelle finden kann. Der Kürze halber mögen die beim Trevelyanversuche entstehenden Töne mit No. 1, die in Rede stehenden Töne mit No. 2 bezeichnet werden. Legt man nun die erhitzte Stange in die Vertiefung und schlägt sie von der Seite an, so erhält man augenblicklich den Ton No. 1, schiebt man dann die erhitzte Stange auf die daneben liegende glatte Fläche, und giebt ihr in derselben Weise einen seitlichen Impuls, so erhält man durchaus keinen Ton; während alsbald der Ton No. 2 eintritt, wenn der Impuls in senkrechter Richtung von Oben nach Unten, oder umgekehrt erfolgt. Legt man die Stange wiederum in die Vertiefung, und schlägt sie von Oben oder Unten an; so erhält man abwechselnd beide Arten von Tönen, doch so, daſs der Ton No. 1 vorherrschend ist, und den Ton No. 2 stets zu verdrängen sucht, der daher nicht anhaltend, und immer nur auf kurze Zeit auftritt, während, wenn man die Stange wiederum auf die glatte Fläche schiebt, der Ton No. 1 ausbleibt und dann der Ton No. 2 ununterbrochen anhält.

Die Oscillationen, denen die Töne No. 1 ihre Entstehung verdanken, lassen sich, wie bekannt, in sehr vielen Fällen schon durch das Gefühl erkennen, wenn man den Wackler an einer passenden Stelle berührt; auch das Schwingen der Unterlage giebt sich auf dieselbe Weise kund; bei den Tönen No. 2 aber nimmt man nicht leicht Schwingungen der Unterlage auf diese Art gewahr; dagegen fühlt man die Vibrationen der Metallstange, namentlich wenn man dieselbe an dem, dem Unterstützungspunkte zunächst liegenden Ende berührt, sehr deutlich. Sind die Schwingungsampli-

tuden des Wacklers bei den Tönen No. 1 grofs genug, so kann man sie bekanntlich auch sehen, und man hat dieses durch einen quer darüber gelegten langen Strohhalm noch deutlicher zu machen gesucht. Befestigt man aber einen solchen Strohhalm quer am Ende der Metallstange, so erkennt man, mag der Strohhalm auch noch so sehr verlängert werden, an demselben keine, oder nur äufserst schwache Bewegung, und selbst die Erschütterungen, die man durch unmittelbares Berühren der Metallstange erfährt, sind an dem Strohhalm kaum merklich. Sehr deutlich dagegen geben sich die Vibrationen der Stange kund, wenn man sie nahe dem Aufliegepunkte mit einem Metallstabe berührt, wobei hervorzuheben ist, dafs die Erschütterungen an den Seiten der Stange am schwächsten, und immer stärker wahrgenommen werden, je mehr man sich mit dem Stabe dem oberen oder unteren Theile der Stange nähert.

Uebt man in einigen Zollen Entfernung von der Aufliegestelle einen senkrechten Druck auf die Stange aus, so geht der in der Regel schrillende Ton stets in einen reineren und zugleich höheren über; hört der Druck auf, so tritt auch der frühere Ton wieder ein. Durch einen seitlichen Druck in horizontaler Richtung ebenso, wie durch den senkrechten Druck unmittelbar über dem Unterstützungspunkte hört der Ton alsbald völlig auf. Zuweilen tritt der Ton, wenn er durch einen zu starken senkrechten Druck gehemmt worden, bei aufhörendem Druck, ohne einen neuen Impuls, sogleich von selbst wieder ein; was man bei starker Erhitzung der Stange oft mehrere Male hinter einander sich wiederholen lassen kann. Auch durch Berührung oder Druck auf den Bleiblock werden die Töne entweder gänzlich verändert, oder gänzlich gehemmt.

Um das Gelingen der Versuche zu sichern, ist es zweckmäfsig, die aufliegende Metallstange vor der Erhitzung versuchsweise anzuschlagen, um den Eingangs erwähnten kurzen Ton zu erhalten; so lange dieser nicht eintritt, tritt auch der anhaltende Ton nicht ein, und man mufs die Lage der Stange so lange verändern, bis man beim Anschlagen

jenen Ton vernimmt: alsdann erst kann der Apparat nach dem Erhitzen zum Singen gebracht werden.

Bei dem Trevelyanversuche war es nicht schwer, die *nächste Ursache* der Töne in dem abwechselnden Aufschlagen der Kanten des Wacklers auf die Unterlage, und den dadurch in beiden hervorgerufenen Schwingungen zu erkennen, indem man die Oscillationen des Wacklers in vielen Fällen deutlich wahrnehmen, oder doch die Schwingungsamplituden zur deutlichen Wahrnehmung hinlänglich vergröſsern konnte. Weit weniger ist dieses bei den in Rede stehenden Tönen der Fall; doch scheinen mir die bisherigen Versuche völlig hinzureichen, um die *nächste Ursache* unserer Töne in *senkrechten Stöſsen der Stange auf die Unterlage* zu erkennen, durch welche beide in Schwingungen versetzt und zum Tönen gebracht werden. Fragen wir nun nach der *Ursache dieser senkrechten Stöſse*, und ferner nach der *Ursache ihrer Fortdauer* nach geschehener Erhitzung, so geben uns die Versuche, nach denen dieselben nur nach erfolgtem *äuſserem Impulse*, und dann auf kurze Zeit auch *ohne* vorherige Temperaturerhöhung eintreten, dahin Aufschluſs, daſs, unter Ausschlieſsung jeder etwa dabei wirksamen Abstoſsungskraft, eben dieser *Impuls* als die Ursache des *Beginnens* der Töne zu setzen, während die *Fortdauer* derselben in der *Temperaturdifferenz* der sich berührenden Körper zu suchen ist. Eine weitere Discussion der Versuche in Betreff der angezeigten näheren Ursachen der Töne halte ich für überflüssig; in welcher Weise aber jene Temperaturdifferenz die Fortdauer der Töne bewirke, ist hier, wie bei dem Trevelyanversuche, sowohl die wichtigste, als schwierigste Frage, und scheinen mir die bisherigen Versuche zu einer erschöpfenden Beantwortung derselben noch nicht ausreichend; ich beschränke mich daher um so mehr nur auf die Andeutungen, die durch fernere Versuche zu prüfen und zu ergänzen seyn werden, als selbst die äuſserst zahlreichen Versuche, welche das Trevelyan'sche Phänomen hervorgerufen, zu einer allgmein an-

genommenen Erklärung desselben bis jetzt nicht geführt haben.

Wenn die nicht erhitzte Metallstange durch einen senkrechten Impuls erschüttert wird, so stöfst sie auf die Unterlage, fährt in die Höhe zurück, und indem sie wieder auf die Unterlage fällt, wiederholt sich dieser Vorgang einige Male hinter einander, bis die Stange aus bekannten Gründen alsbald zur Ruhe kommt: durch die rasch aufeinander folgenden Stöfse werden Stange und Unterlage in Schwingungen versetzt, die einen kurzen anhaltenden Ton erzeugen. Wird nun die Stange erhitzt, so wird sie durch das an der Berührungsstelle sich ausdehnende Blei gehoben, und wenn sie nach erfolgtem Impulse in die Höhe gegangen, so kühlt sich das Blei an der Berührungsstelle ab, sinkt nieder, und die Stange durchläuft beim Herabfallen einen gröfseren Raum, als der war, den sie beim Aufsteigen durchlief: hierdurch erhält sie einen Zuwachs an Geschwindigkeit, der hinreichend ist, den Geschwindigkeitsverlust, den sie durch den Stofs und die Hindernisse der Bewegung erlitt, zu ersetzen, und diefs wird sich so lange wiederholen, als die erforderliche Temperaturdifferenz der sich berührenden Metalle anhält. Hierbei scheint mir aber, wie schon früher angedeutet [1]), die Ausdehnung des Bleies in *horizontaler* Richtung eine sehr wichtige Rolle zu spielen, was sich unter Anderem darin kund giebt, dafs die Töne in der Regel unrein und schrillend sind, aber um so reiner werden, je weniger Rauhigkeit die Metalle an der Berührungsstelle haben, und sich völlig rein und musikalisch stimmen lassen, wenn man an passender Stelle auf die Stange einen senkrechten Druck ausübt, wodurch die seitliche Wirkung an der Berührungsstelle gehemmt wird. Weitere Versuche sind jedoch erforderlich, um über die Wirkungen Aufschlufs zu erhalten, welche die Ausdehnung und Zusammenziehung der Bleiunterlage in horizontalem Sinne zur Folge haben, und die bei Erklärung des Trevelyanversuche[illegible]rklich ganz aufser Acht gelassen zu

1) Pogg[illegible]117, S. 62[illegible]

werden pflegen; wobei dann auch die Frage zur Sprache kommt, ob nicht manche der von früheren Beobachtern bei dem Trevelyanversuche wahrgenommenen Töne, die man mit der Faraday'schen Theorie nicht in Einklang zu bringen wufste, zu den in Rede stehenden gehören, und nur mit den Trevelyan'schen Tönen verwechselt worden sind.

---

## XV. *Neuer Meteorsteinfall in Indien.*

In der Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der K. Akademie zu Wien vom 10. December 1863 berichtete Hr. W. Haidinger über den Fall eines Meteorsteines, welcher am 11. August des gegenwärtigen Jahres, Vormittags zwischen 11 und 12 Uhr in der Nähe einer Ortschaft Shythal, wenige englische Meilen nördlich von der Stadt Dacca in Bengalen, stattgefunden hat. Dacca liegt zwischen den Flüssen Ganges und Brahmaputra, 150 engl. Meilen nordöstlich von Calcutta. Der Fall wurde von einem Eingebornen, dem Ryot Doyal Bungshee, gut beobachtet.

Bei Donnerschall bewegte sich ein runder rother Körper von Ost gegen West und schlug anderthalb Fufs tief in den feuchten Boden; nach einer halben Stunde ausgegraben, war er nicht wärmer als der umgebende Grund. Der Zemindar Baboo Kally Narain Roy schickte den Stein an Dr. Simpson in Dacca. Nach einer vorläufigen chemischen Untersuchung von Hrn. Brennand in Dacca, welche Kieselerde, metallisches Eisen, Nickel, Kobalt und Mangan, auch einfach Schwefeleisen nachwies, schickte Dr. Simpson den Meteorstein an den Gouverneur in Calcutta, der ihn wieder der *Asiatic Society of Bengal* verehrte. In der Sitzung am 4. November wurde er derselben vorgelegt. Hr. Dr. Ferdinand Stoliczka berichtete über diesen Meteoriten an Haidinger und sandte auch Abbildungen ein. Der Stein wird demnächst an das britische Museum nach London gesandt werden, doch ist auch dem k. k. Hof-Mineralien-Cabinette in Wien ein Abschnitt zugesagt. Er wiegt etwas über 5 Pfund, ist gröfstentheils schwarz über-

rindet, innen hellgrau mit gröfseren und kleineren helleren Einschlüssen metallischer Theilchen von Eisen und von einfach Schwefeleisen und ausgezeichnet breccienartiger Structur; die Gestalt ist die eines Bruchstückes, dessen in der Anlage scharfe Kanten durch äufserliche Schmelzung abgerundet sind.

---

## XVI. *Bemerkung zu Melde's Lehre von den Schwingungscurven; von J. Lippich.*

---

Hr. Dr. F. Melde nimmt am Schlusse seines ausführlichen Werkes: »*Die Lehre von den Schwingungen*« Notiz von einer von mir veröffentlichten Arbeit, und erwähnt, es scheine mir seine in diesen Ann. Bd. 115 (1861) S. 117 mitgetheilte Abhandlung »*Ueber das Universal-Kaleïdophon*« entgangen zu seyn, da ich die Zeichnung und Beschreibung eines Apparates beifüge, den derselbe in fast derselben Form angegeben hatte. Ich glaube hierauf bemerken zu müssen, dafs die erwähnte Abhandlung im Januarhefte mit dem Datum vom 2. December 1861 erschien, während meine Arbeit in der Sitzung vom 31. October desselben Jahres der kais. Akademie vorgelegt wurde, ich also bezüglich des darin Niedergelegten die Priorität zu beanspruchen berechtigt wäre.

Beiläufig sey noch hinzugefügt, dafs ich nicht, wie Hr. Melde meint, von Grundsätzen der Mechanik ausgehend, sondern zu dem Zwecke, um auf eine einfache Weise die erhaltenen Formeln durch messende Versuche zu verificiren, von rein geometrischem Standpunkte aus die, auch in dem Eingangs angeführten Werke besprochenen Eigenschaften der Interferenzcurven, und noch einige andere nicht minder interessante, mir abzuleiten genöthigt war. Von meiner Abhandlung ist auch in diesen Annalen Bd. 106 ein Auszug mitgetheilt worden.

Prag, den 14. December 1863.

---

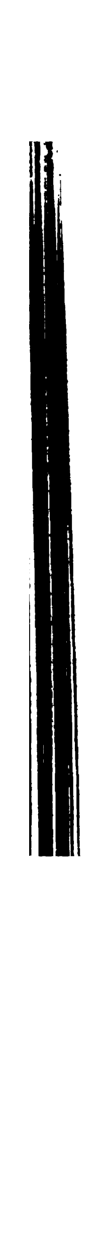




# Namenregister

zum

Jahrgang 1863.



(Die Bände 118, 119, 120 sind durch XVIII, XIX, XX bezeichnet.)



## K.



## L.



## M.

O.



P.



Q.



R.

S.

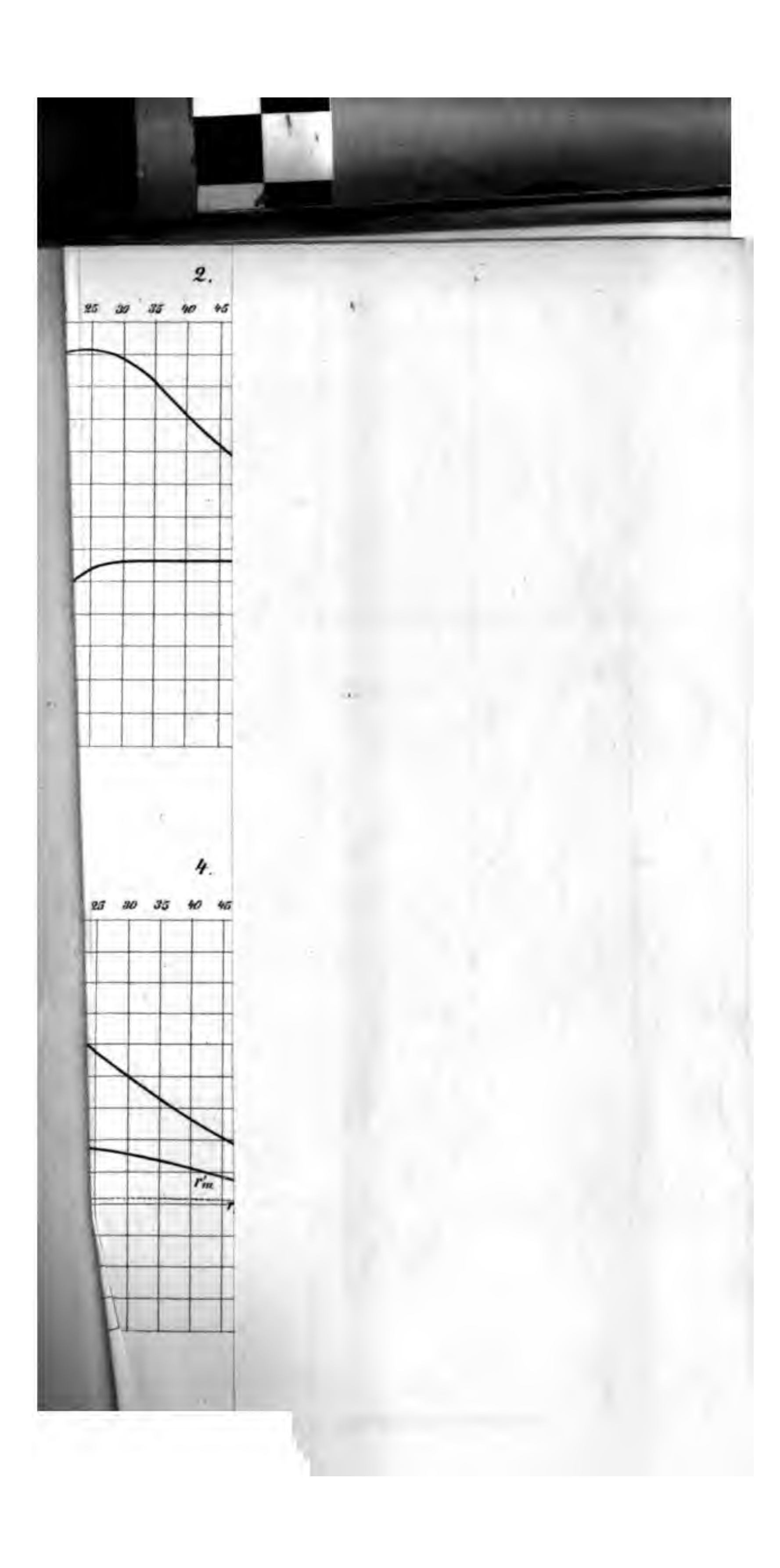


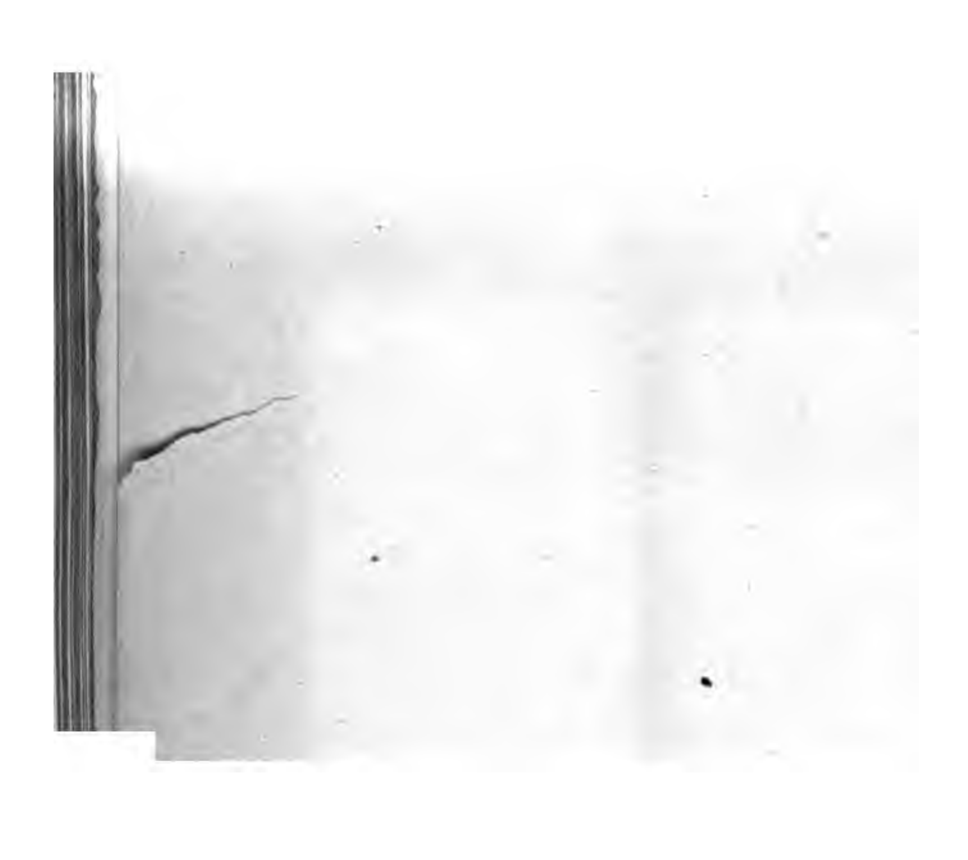
V.

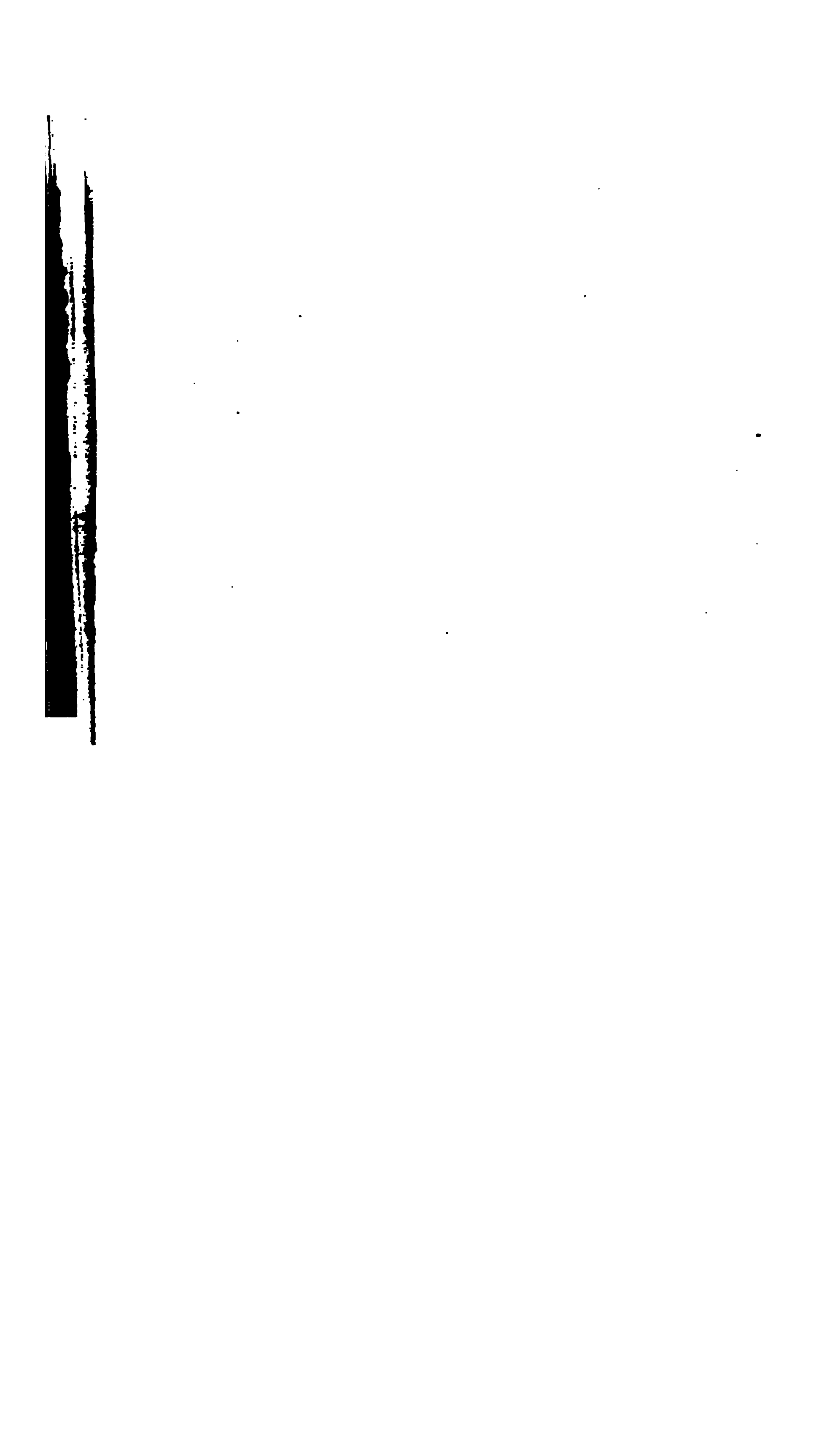


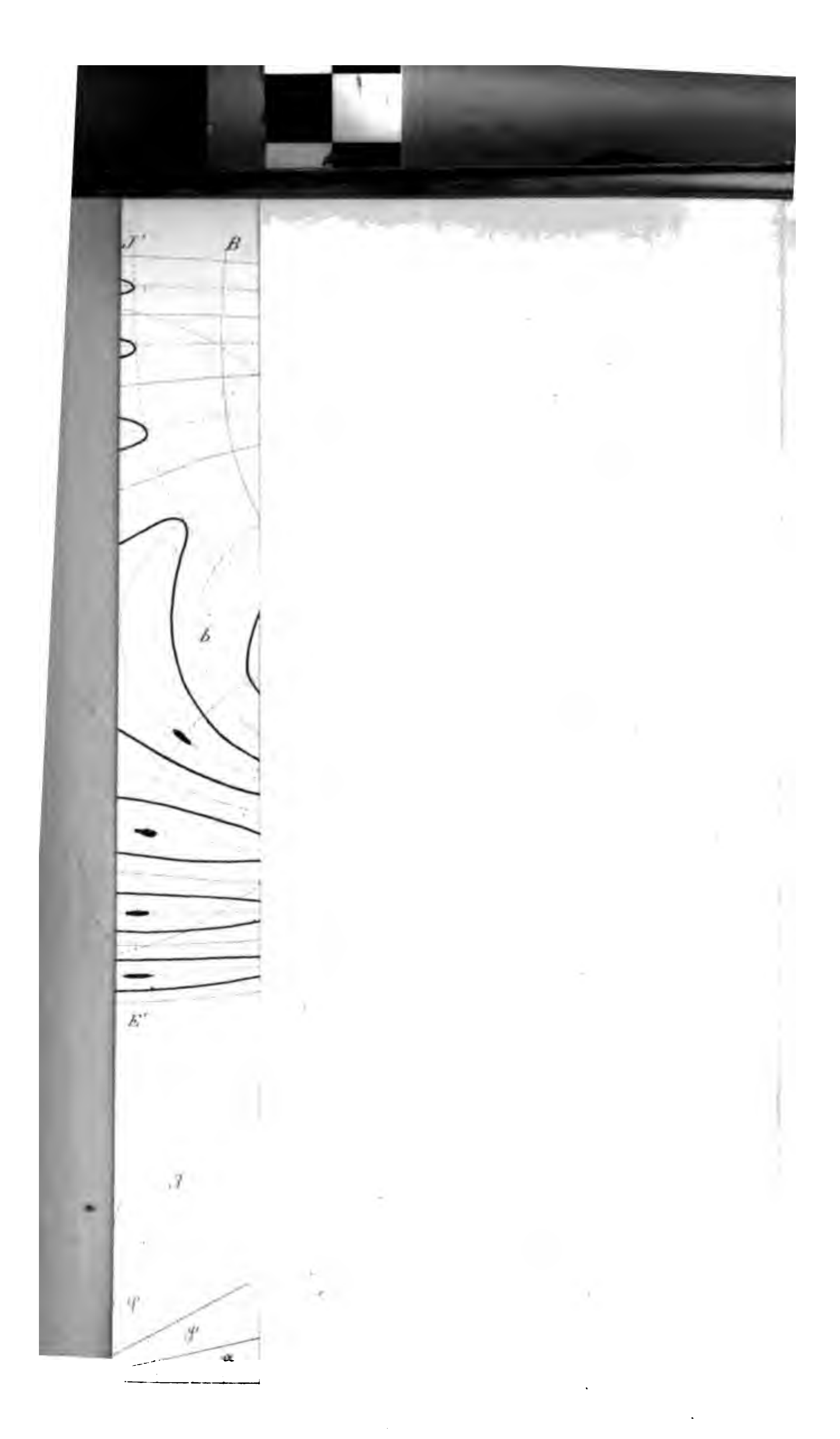
W.



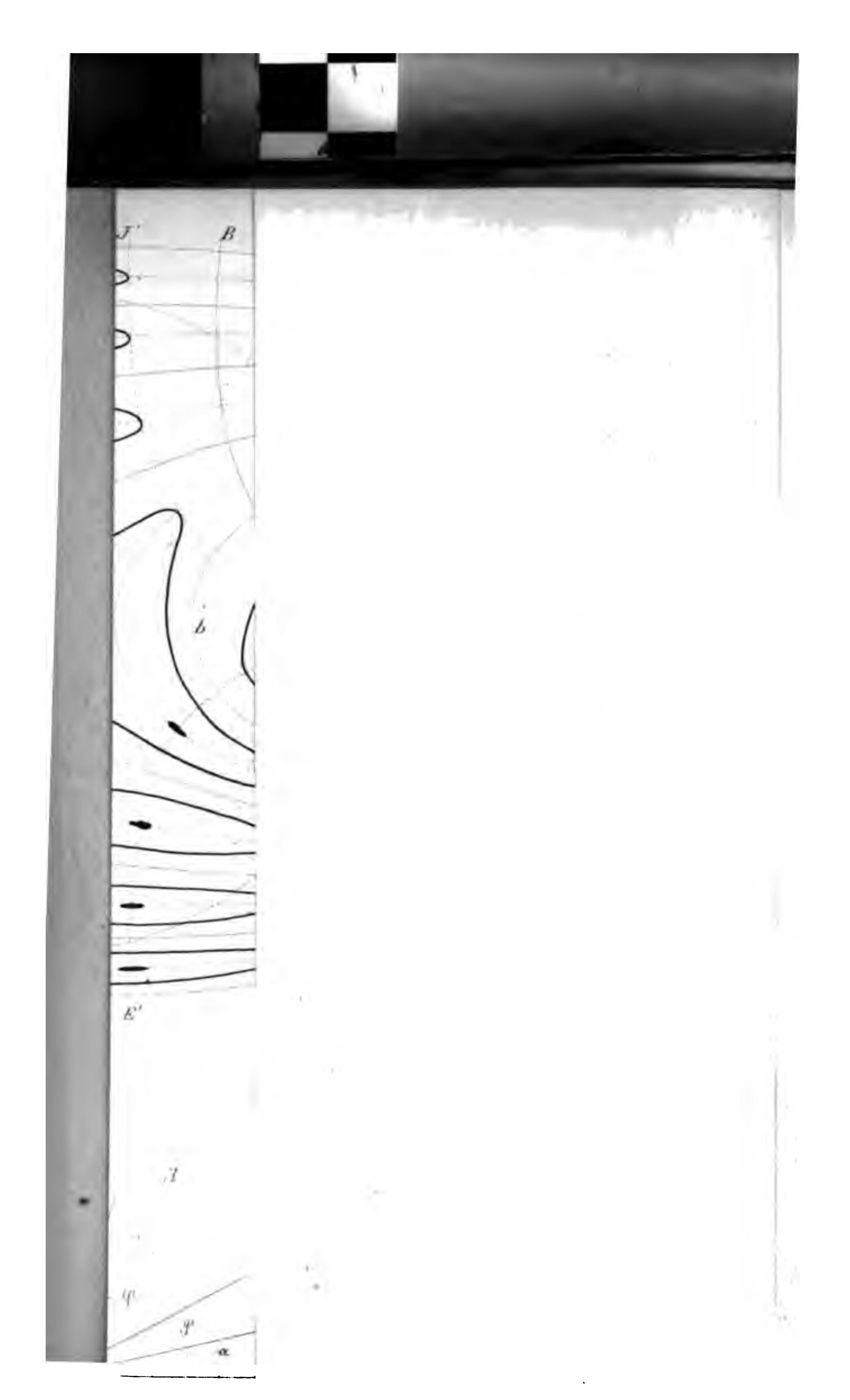

2.
25
30
35
40
45
4.
25
30
35
40
45

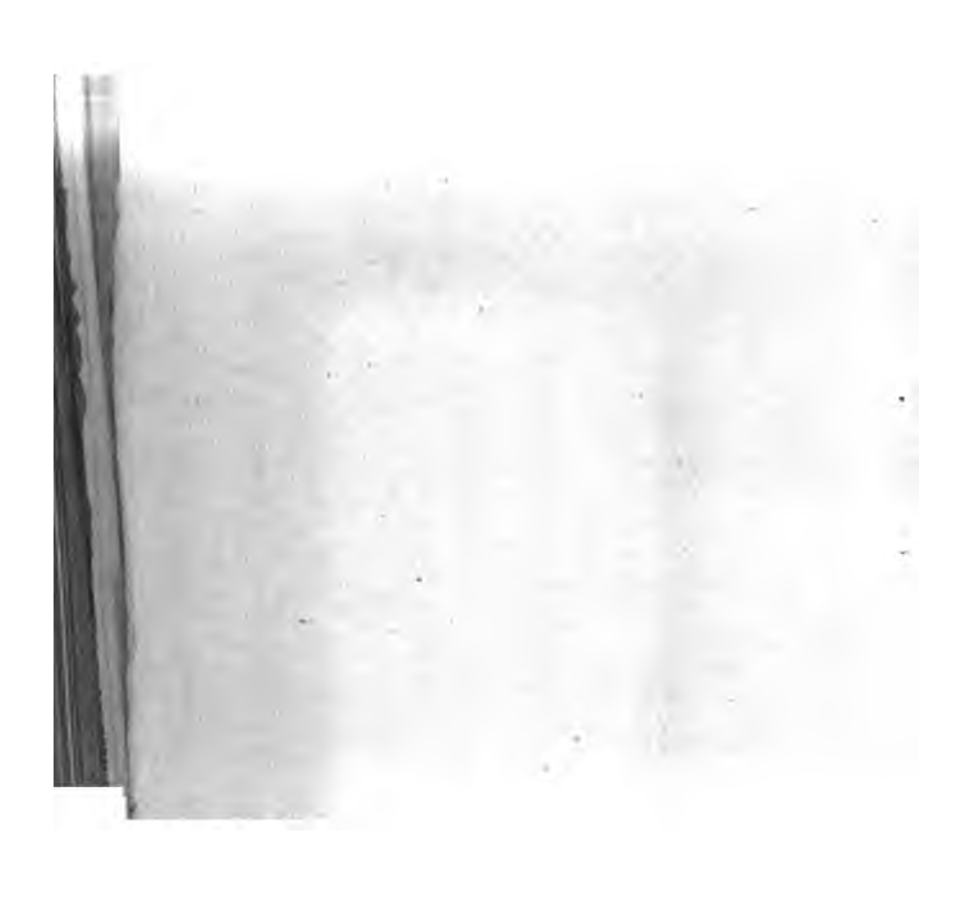


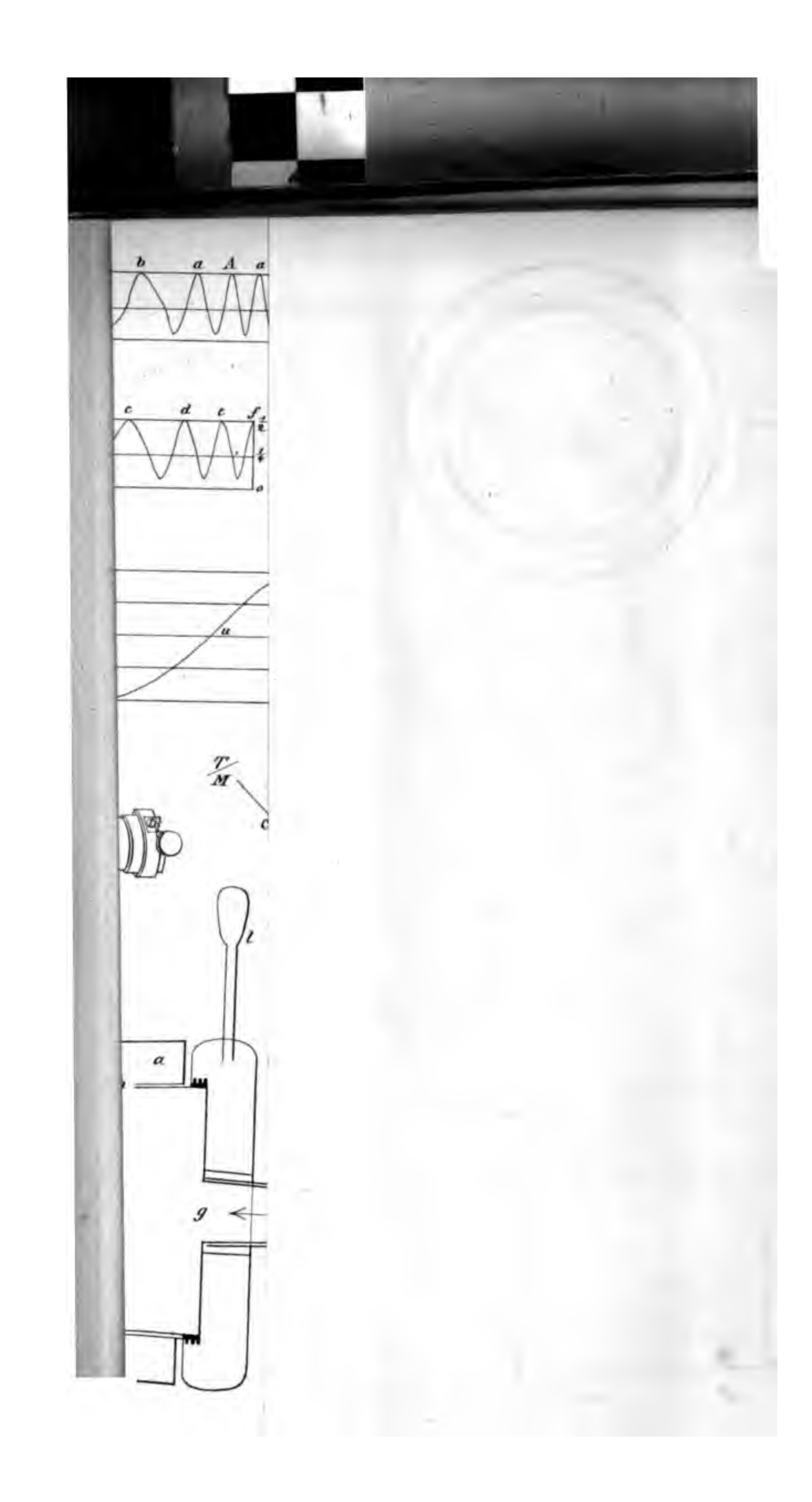




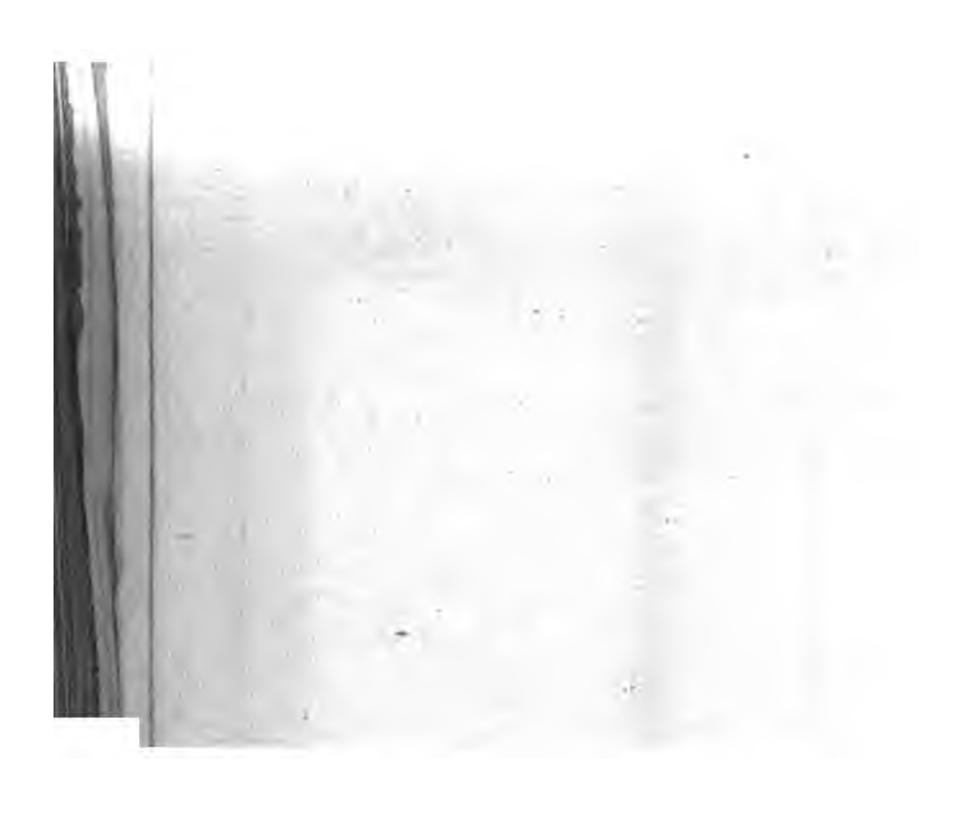


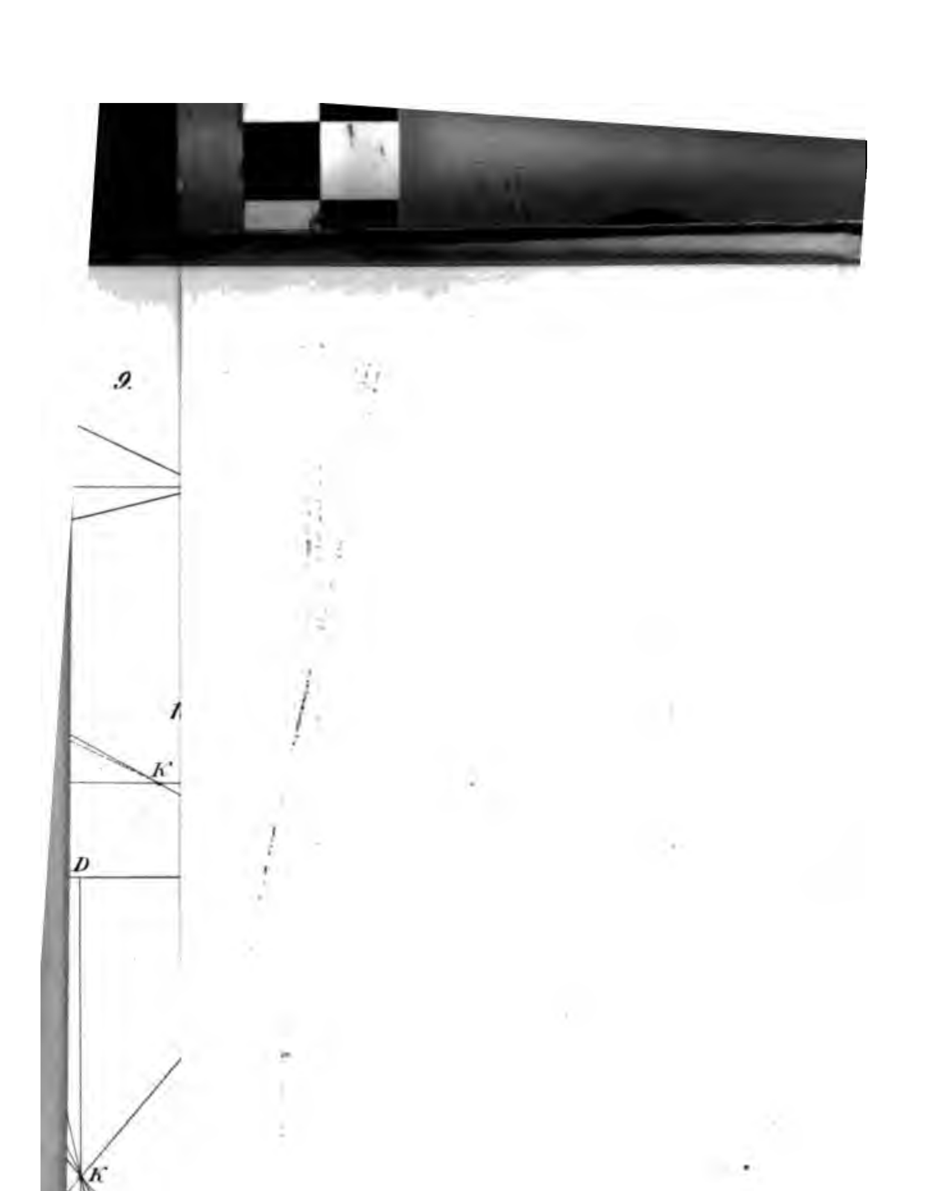


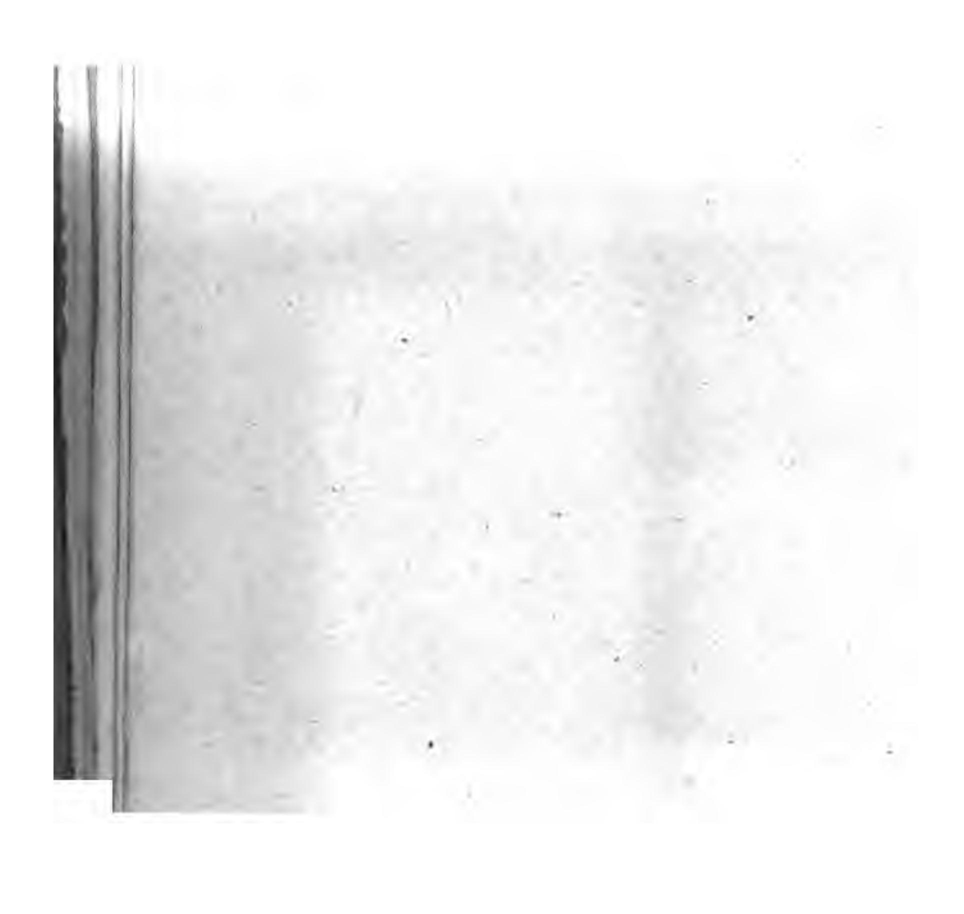


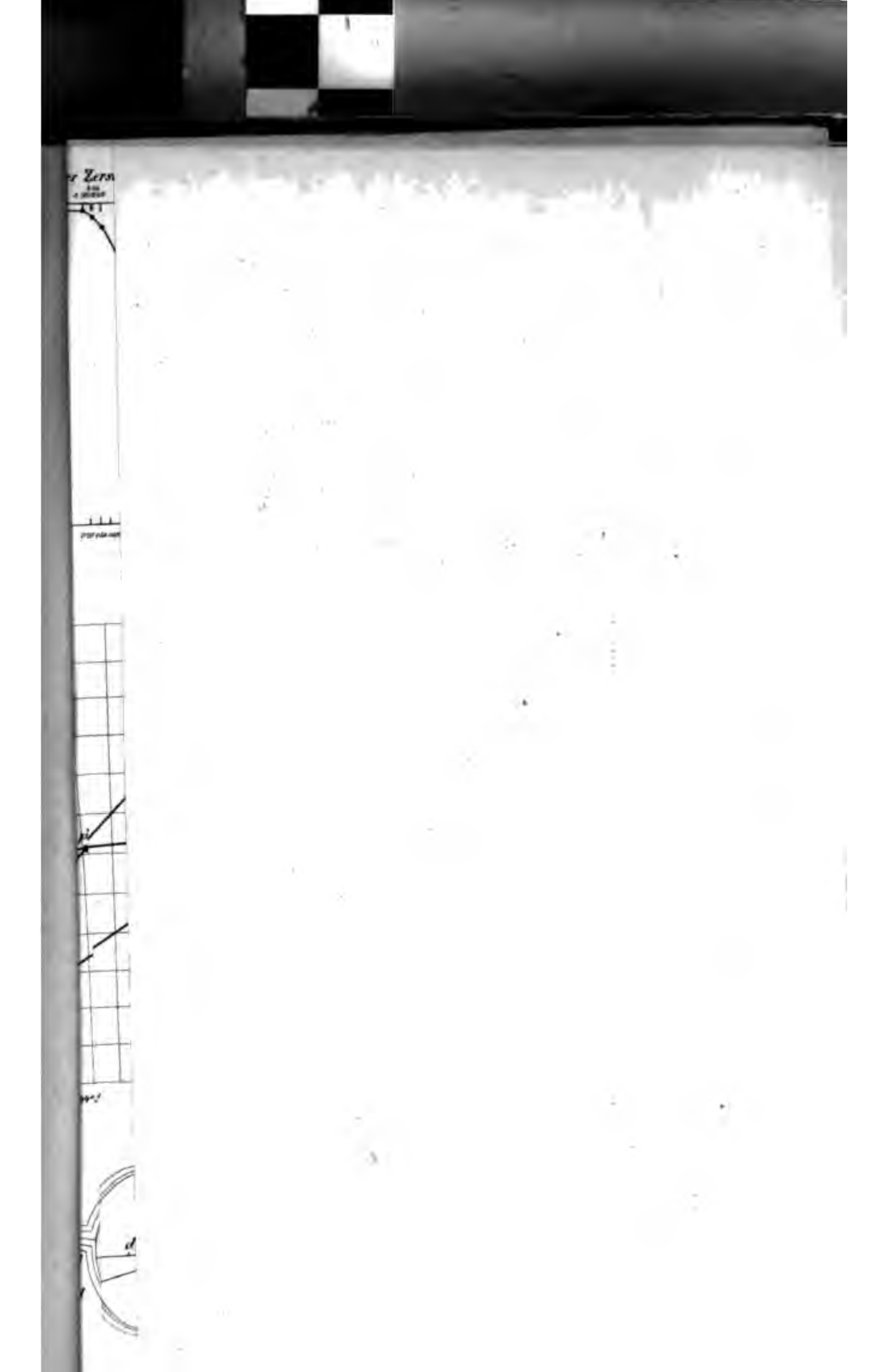


b a A a
c d e f
u
T
M
C
l
a
g




9.
K
D
K
c
3
d
B







# ANNALEN

DER

# PHYSIK UND CHEMIE.

REGISTER-BAND.



# ANNALEN

DER

# PHYSIK UND CHEMIE.

REGISTER-BAND.

# ANNALEN

DER

# PHYSIK UND CHEMIE.

REGISTERBAND.

# ANNALEN

DER

# PHYSIK

UND

# CHEMIE.

VON

J. C. POGGENDORFF.

---

# NAMEN-

UND

# SACH-REGISTER

ZU DEN

BÄNDEN XCI BIS CXX.

BEARBEITET VON W. BARENTIN.

---

LEIPZIG, 1865.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.





## Der Nachweis zu den Kupfertafeln

befindet sich in jedem Bande am Schlufs des Inhaltsverzeichnisses.

---

## Berichtigungen:

### Zu dem Register für Band I bis LX.

Seite 26 unter **Feldt** gehört der letzte Aufsatz LV, 189 zu **Fechner**.
„ 33 „ **Hartwall** ist statt XVIII, 420 zu setzen XXVIII, 420.
„ 37 „ **Humboldt** Temperat. d. Ostsee statt XXXII zu setzen XXXIII.
„ 39 „ **Knochenhauer** statt XXXIV, 341 zu lesen XXXIV, 481.
„ 47 „ **Mark** ist statt Mark zu setzen **Marx**.
„ 56 „ **Pfaff** mufs statt XXII, 164 stehen XLII, 164.
„ 64 „ **Rose, F.** gehört der Aufsatz LIII, 161 zu **A. Rose**.
„ 70 „ **Schönbein** mufs es statt L, 558 heifsen L, 616.

### Zu dem Register für Band LXI bis XC.

Seite 8 unter **Clausen** ist statt E III, 155 zu setzen E IV, 155.
„ 25 „ **Plateau** ist statt LXXVIII, 363 zu setzen LXXVIII, 563. Statt LXXXIII, 387 zu setzen LXXXII, 387.
„ 26 „ **Plücker** ist statt LXIII, 618 zu setzen LXXIII, 618.
„ 30 „ **Rijke** ist statt LXXXIX, 186 zu setzen LXXXIX, 166.
„ 34 „ **Schneider** ist der Aufsatz LXXIV, 57 von W. G. Schneider; der Aufsatz LXXXV, 483 von F. C. Schneider; das Uebrige von R. Schneider.
„ 35 „ **Schumann** ist statt LXXIII zu setzen LXVIII.

---





# Namen-Register

zu

den Annalen der Physik und Chemie

Band XCI bis CXX.





# Namenregister.

## A.



## B.

## C.

## E.

## F.

## G.







## H.

## J.

## K.



## Q.



## T.



## U.



## V.



## Z.



# Sach-Register

zu

den Annalen der Physik und Chemie

Band XCI bis CXX.





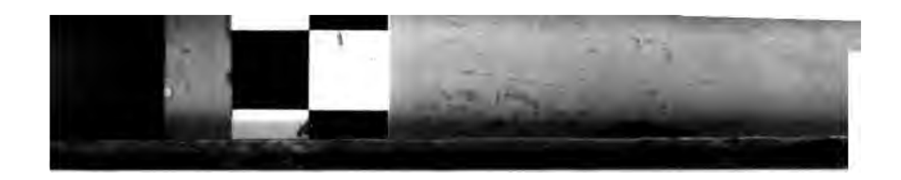
# Sachregister.

## A.

## B.

## C.





## F.



## H.



## K.







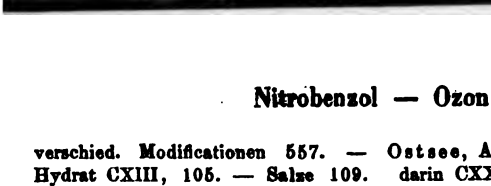




## M.



## N.



## Q.

## R.





## U.



## Y.



## Z.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstr. 47.



